

Edenir Zabicki Soares Ramos

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Petrópolis)

Elislene Dantas Monterio

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Petrópolis)

Marcos Aurélio Pinto Marzano Junior

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Petrópolis)

RESUMO

O Brasil apresentou nos últimos anos um crescimento econômico com maior distribuição de renda, mercado de compra e venda diversificada, incentivo à produção e às indústrias. A construção civil é um grande exemplo de acompanhamento deste crescimento com a existência de grandes obras e investimentos no setor. No âmbito da indústria da construção civil, destaca-se uma intensa dinâmica de operação sofrendo diariamente diversas mudanças, principalmente no que se refere aos controles de qualidade nas obras. Tal fato está associado principalmente ao despreparo dos profissionais atuantes no setor. Um dos processos mais afetados por esse despreparo é a cura do concreto. Quando este processo é realizado de forma contínua pode apresentar excelentes resultados, enquanto o uso de forma intermitente maximiza o risco de problemas, tais como: retração, fissuração, desgaste por abrasão, comprometimento da impermeabilidade do concreto e perda da resistência característica a compressão. Dado o exposto, o principal objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema de controle automatizado no âmbito do processo da cura do concreto. Assim, este trabalho descreve um referencial teórico sobre o concreto e seus diferentes tipos, visando corroborar para o entendimento da concepção do sistema automático para cura úmida do concreto. Devido a pandemia do COVID – 19, realizou-se o desenvolvimento de uma maquete de uma laje contemplando aspectos em escala de uma situação real. Assim, implementou-se o sistema autônomo na maquete utilizando sensores capacitivos, um microcontrolador Arduino, uma bomba, aspersores para irrigação e demais sistemas eletrônicos necessários para realizar toda instrumentação. O estudo de caso com a maquete apresentou bons resultados no que tange o controle da cura úmida do concreto, validando a concepção da ideia para testes em obras reais.

Palavras-chave: Arduino; Concreto; Cura; Controle; Qualidade

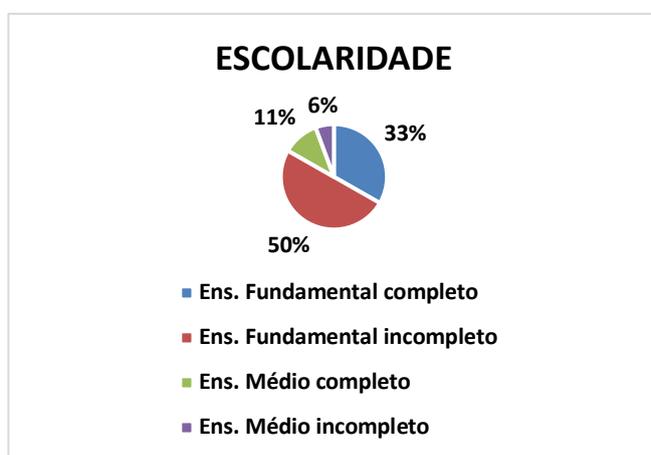
INTRODUÇÃO

O Brasil apresentou nos últimos anos um crescimento econômico com maior distribuição de renda, mercado de compra e venda diversificada, incentivo à produção e às indústrias. A construção civil é um grande exemplo de acompanhamento deste crescimento com a existência de grandes obras e investimentos no setor. Neste aspecto, o resultado do

Produto Interno Bruto - PIB divulgado no dia 04/03/2020 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), evidenciou que no ano de 2019 houve um crescimento de 1,1% no PIB Brasileiro, puxado pela alta na construção civil de 1,6% e de 0,5 % na indústria. Além disso, o Brasil registrou uma alta de 9,7% em vendas de novas residências em 2019, não alcançando um resultado melhor devido ao atual cenário político e ao atual cenário do programa Minha Casa Minha Vida (MCMV) que dificultaram um maior avanço no setor.

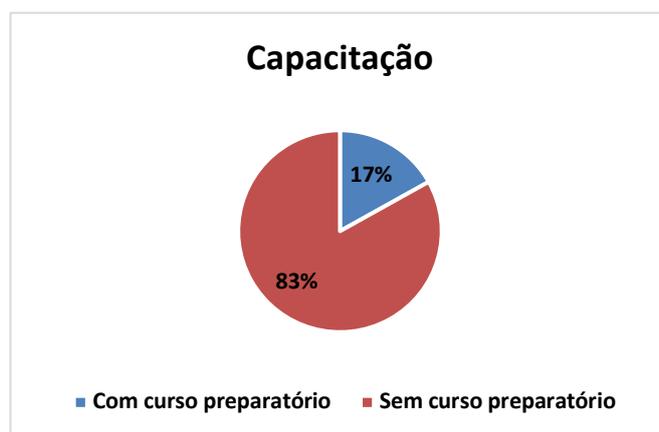
No âmbito da indústria da construção civil, destaca-se uma intensa dinâmica de operação sofrendo diariamente diversas mudanças, principalmente no que se refere aos controles de qualidade nas obras. Tal fato está associado principalmente ao despreparo dos profissionais atuantes no setor. Neste contexto, em abril de 2017 foi realizada uma pesquisa avaliada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade de Montes Claros, visando verificar o grau de escolaridade e o conhecimento técnico dos pedreiros locais. Nesta tônica, pôde-se observar através do gráfico 1, o baixo nível de escolaridade dos trabalhadores da construção civil, bem como no gráfico 2 a massiva quantidade de profissionais sem curso preparatório.

Gráfico 1- Escolaridade média dos trabalhadores na construção civil



Fonte: Adaptado – Comitê de Ética e Pesquisa da Universidade de Montes Claros, 2017

Gráfico 2 - Capacitação dos trabalhadores na construção civil



Fonte: Adaptado – Comitê de Ética e Pesquisa da Universidade de Montes Claros, 2017

As informações supracitadas corroboram para um panorama onde a grande maioria dos profissionais carece de conhecimentos específicos, visto que, a maioria detém apenas o conhecimento prático adquirido ao longo da profissão, muitas vezes com erros sucessivos

pela falta de treinamentos adequados. Tais inadequações influenciam negativamente na estrutura da edificação, uma vez que impactam diretamente na qualidade do principal material estrutural: o concreto.

Um dos processos mais afetados por esse despreparo é a cura do concreto. A cura do concreto nada mais é que um conjunto de fatores que promovem a hidratação do cimento, destacando-se: a umidade, o tempo e a temperatura, visando desenvolver a resistência do material. Ressalta-se que a cura por aspersão é um dos processos mais simples de proteção do concreto, realizada através do lançamento de água na superfície do mesmo. Quando este processo é realizado de forma contínua pode apresentar excelentes resultados, enquanto o uso de forma intermitente maximiza o risco de problemas, tais como: retração, fissuração, desgaste por abrasão, comprometimento da impermeabilidade do concreto e perda da resistência característica a compressão (NEVILLE E BROOKS, 2013).

Dado o exposto, torna-se axiomático que a cura é uma das principais etapas na execução do concreto e tem participação direta no desenvolvimento do processo de hidratação da pasta de cimento vedando o concreto, mantendo a água de amassamento no seu interior, evitando a retração e o transporte de substâncias que poderão interferir na hidratação. Assim, a cura influencia em média 14% no ganho de resistência. O que demonstra a fundamental importância do processo de cura ser rigorosamente realizado em obra, no intuito do concreto adquirir máxima resistência (REVISTA TECNOLOGIA E INFORMAÇÃO, JUL/OUT 2015).

Assim, evidencia-se a necessidade de um melhor controle da qualidade da cura do concreto nas obras civis. Nesta tônica, o desenvolvimento e a utilização de um sistema automatizado para este processo trariam vários benefícios, tais como:

- Economia de água, visto que o sistema umidificará de forma uniforme somente o volume necessário, evitando o uso excessivo de água;
- Impedir que haja retração hidráulica do concreto devido à perda de água no processo de endurecimento;
- Conferir alta resistência à carbonatação e à difusão de íons devido à ausência de fissuras;
- Monitoramento à distância, podendo ser acionado remotamente de qualquer *smartphone*;
- Dispensa a presença do operário e a necessidade de altos investimentos em treinamentos.

Logo, torna-se essencial o desenvolvimento de uma tecnologia, associado ao conceito da indústria 4.0, que vise principalmente a otimização de todo o processo de cura do concreto, garantindo a melhoria contínua do processo, bem como preservando a qualidade do mesmo.

O principal objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema de controle automatizado no âmbito do processo de cura do concreto. Assim, torna-se necessário analisar os processos de cura úmida largamente empregados nas obras civis, observando suas influências na resistência final do concreto.

Dado o exposto, espera-se que este trabalho coopere de forma substancial com a indústria da construção, servindo para corroborar um aumento na qualidade da cura do concreto.

Uma vez que a proposta é apenas auxiliar o mercado com o uso de uma nova tecnologia, torna-se importante outro aspecto: o custo. Logo, todo o trabalho desenvolvido deverá visar soluções práticas, simples e funcionais, objetivando o desenvolvimento do protótipo com um custo baixo e acessível.

O sistema de automatização deverá ser capaz de otimizar o processo de cura do concreto, com a finalidade de reduzir o tempo gasto de mão de obra, economizar recursos naturais (água), bem como maximizar a qualidade do processo supracitado. Assim, o sistema deverá atender os seguintes parâmetros operacionais:

- Ser capaz de verificar a umidade do concreto;
- Ser capaz de irrigar/umedecer o concreto quando for necessário;
- Integrar de modo digital e imediato à comunicação, os dados e as informações relevantes do processo para o gestor ou responsável da obra.

Objetivando validar o conceito deste trabalho e garantir as medidas de isolamento social devido a pandemia do COVID - 19, um protótipo deverá ser desenvolvido visando atender as necessidades de uma maquete para validar a ideia proposta.

METODOLOGIA

- Este trabalho foi elaborado seguindo as etapas abaixo:
- Estudo sobre concreto, focando nas características de interação molecular e métodos de otimização na resistência final.
- Estudo sobre a importância da cura do concreto;
- Estudo da NBR 12655/2015 – Concreto de cimento Portland, NBR 5738/2003 - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, NBR 14931/2004 – Procedimento para Execução de estruturas de concreto, NBR 6118/2014 – Procedimentos para projeto de estruturas de concreto, NBR 15900-1/2009 - Água para amassamento do concreto, NBR 15.575/2013 – Desempenho de edificações habitacionais, ACI 308R/2001 - Guide to External Curing of Concrete;
- Estudo sobre automação e recursos tecnológicos que possam atuar no desenvolvimento deste projeto;
- Compilação das informações necessárias e objetivas em cada item estudado;
- Desenvolvimento da maquete;
- Construção do protótipo para aspersão de água;
- Engendramento de maquetes para simulação de situação real nos testes realizados;
- Avaliação e testes práticos da função e aplicabilidade do protótipo e aplicativo;
- Conclusão e Resultados.

REFERENCIAL TEÓRICO

CONCRETO

O termo “concreto” é tratado como sendo qualquer produto produzido através de um meio cimentante, destacando que esse meio normalmente é fruto da reação entre o cimento Portland e a água que, juntamente com os agregados, formam o material que tanto é conhecido na indústria da construção civil.

O concreto é o material de construção mais utilizado no mundo, na ordem de 11 bilhões de toneladas métricas ao ano e o Brasil contribui efetivamente nessa estatística, com 30 milhões de toneladas ao ano. Existem, ao menos, três razões para o uso tão disseminado do concreto em comparação com outros materiais. A primeira delas é sua resistência à água, o concreto pouco se deteriora em contato com a mesma, sendo um material ideal para construções que fazem o armazenamento ou o transporte de água. Este fato também pode ser historicamente comprovado, pois os romanos utilizavam este material em cisternas e aquedutos. A segunda razão é a sua plasticidade, que permite construções das

formas mais variadas possíveis, sendo um grande aliado da arquitetura contemporânea. A terceira razão crucial para o grande uso do concreto, o baixo custo, justificando-se pela fácil obtenção de seus componentes, por estes serem relativamente baratos (NEVILLE E BROOKS, 2013; MEHTA E MONTEIRO, 2008).

De acordo com Borges e Carreiro (2017) o concreto possui variações de acordo com as características de preparo, componentes, resistência, dentre outros parâmetros, tais como:

Concreto convencional (considerado o concreto mais antigo):

- Composto por cimento, água, agregados graúdos e agregados miúdos;
- Resistência à compressão: entre 10 e 50 Mpa;
- *Slump test* (usado para verificar a consistência e trabalhabilidade do concreto, não sendo aplicado para concretos auto-adensáveis) entre 40 e 70mm;
- Seu lançamento deve ser manual e requer utilização de vibradores e adensadores;
- Consistência seca por não utilizar aditivos;
- Baixa trabalhabilidade e resistência à tração e flexão.

Concreto armado (mais utilizado atualmente):

- Composto por cimento, água, agregados graúdos, agregados miúdos e barras de aço;
- Alia a resistência à compressão com a resistência à tração;
- Melhor relação custo x benefício, pois utilizam-se menores dimensões e conseqüentemente menor volume de componentes;
- Não utiliza aditivos, com isso sua consistência é seca;
- Apresenta resistência à compressão e *slump* similares ao concreto convencional.

Concreto usinado ou dosado em central:

- Maior flexibilidade de escolha do tipo de concreto, do tempo de pega, trabalhabilidade e resistência;
- Uso de aditivos;
- Rigoroso controle de qualidade com pesagem precisa de materiais e controle do tempo de mistura.

Concreto protendido:

- Recebe adição de cabos de aço com elevada resistência, podendo sua protensão ser executada antes ou após a concretagem;
- Utilizado para locais com elevados esforços, grandes vãos, ambientes com alto grau de agressividade ao concreto.

Concreto auto adensável:

- Alta fluidez;
- *Slump* superior a 200mm;
- Alto custo, pois utiliza exclusivamente agregado miúdo, demandando de mais matéria prima para alcançar o volume desejado;
- Dispensa o uso de vibradores e adensadores evitando assim segregação e exsudação.

Concreto de alta resistência:

- Utiliza-se agregados graúdos de baixa dimensão;

- Requer uso de aditivos ou pozolonas pois possui grande tendência à retração;
- Muito utilizado em fundações e estruturas de edifícios com muitos pavimentos.

Concreto rolado:

- Consistência seca;
- Baixo consumo de cimento;
- Requer uso de rolos de compressão para compactação pois possui pouca trabalhabilidade;
- Utilizado principalmente como sub-base em pavimentos, barragens e pisos de estacionamentos.

Concreto leve:

- Composto apenas por agregados leves;
- Resistência de compressão máxima 25Mpa;
- Densidade entre 1000 e 1200kg/m³;
- Muito utilizado em estruturas pré-fabricadas ou pré-moldadas pela redução do peso estrutural.

Concreto celular:

- Não utiliza agregados, mas sim uma espuma especial responsável por incorporar bolhas de ar em seu interior;
- Massa específica entre 300 e 1850Kg/m³;
- Usado em paredes e divisórias, pisos e etc.

Concreto pesado:

- Peso específico entre 3360 à 3840kg/m³;
- Adição de agregado natural pesado;
- Se limita a ser bombeado a pequenas distâncias por sua baixa trabalhabilidade;
- Tendência à segregação;
- Muito utilizado para blindagem de radiação por ser mais econômico que outros materiais.

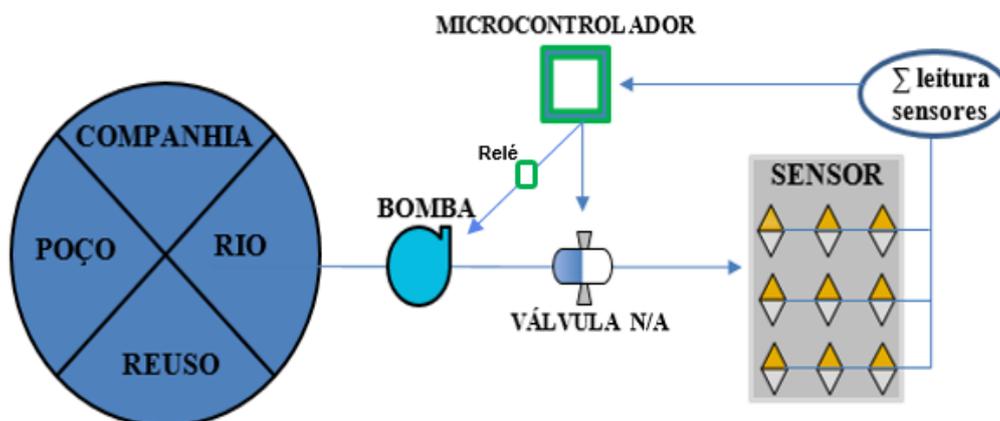
DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

O sistema proposto é composto por uma ou mais fontes de abastecimento de água, uma bomba para pressurização da linha de abastecimento, uma válvula solenoide normalmente aberta, um microcontrolador, sensores de umidade para monitoramento e controle do sistema, bem como aspersores para realizar a irrigação de toda área concretada.

Salienta-se que o projeto em questão atende dois modos de operação distintos, ou seja, uma situação em que há pressão suficiente no ponto de abastecimento d'água e, uma situação onde há necessidade de uma bomba para realizar o recalque da água uma vez que o ponto de abastecimento não possui pressão suficiente. No caso de haver pressão suficiente no ponto de abastecimento, uma válvula solenoide é responsável por atuar na abertura e no fechamento de água, conseqüentemente no controle da irrigação e hidratação do concreto através dos aspersores. O controle de abertura e fechamento desta válvula é realizado por um microcontrolador que dependendo da leitura dos diversos sensores de umidade, infere e atualiza suas saídas. Se o ponto de abastecimento não possuir pressão suficiente para girar os aspersores e conseqüentemente realizar a hidratação do concreto, uma bomba é acionada visando realizar o recalque da linha. Por último, registra-se que os

sensores de umidade estão espalhados ao longo da forma onde será despejado o concreto. A figura 4 ilustra um esquemático da concepção supracitada.

Figura 1 – Diagrama conceitual do projeto



Fonte: Autor

Além desta seção, este capítulo está subdividido em mais duas seções relacionadas com o processo de desenvolvimento do sistema de automação para o controle da cura úmida do concreto. A primeira seção descreve a metodologia utilizada para fabricação da maquete que servirá de elemento fático para validação do conceito proposto, uma vez que conforme já exposto anteriormente, por questões de segurança em frente a pandemia do COVID – 19 não foi possível validar a proposta no âmbito do estudo de uma obra real. A segunda seção aborda todo o desenvolvimento da eletrônica embarcada do projeto, bem como a lógica de programação desenvolvida.

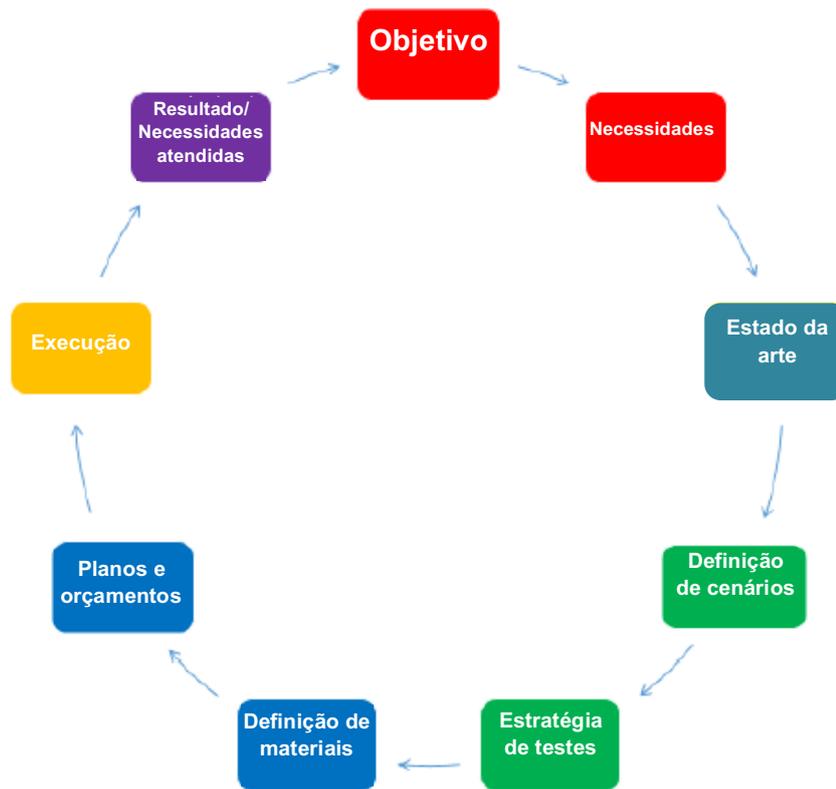
DESENVOLVIMENTO DA MAQUETE

Com o intuito de se avaliar os requisitos necessários para se atingir o objetivo principal, desenvolveu-se uma metodologia de projeto com o intuito de suprir as exigências necessárias para atender a necessidade de controle da cura úmida do concreto. Logo, no início do projeto se fez necessário responder a uma série de perguntas que determinaram as características da maquete, e, delimitaram o seu projeto, a saber:

- Qual seria a dimensão mínima necessária de uma laje para validar o conceito?
- Qual seria a espessura mínima necessária para validar o uso de um sensor?
- Qual seria a quantidade mínima necessária de sensores para validação do conceito?

A figura 5 apresenta o fluxo do planejamento adotado para a definição dos parâmetros mencionados.

Figura 2 - Fluxo de planejamento



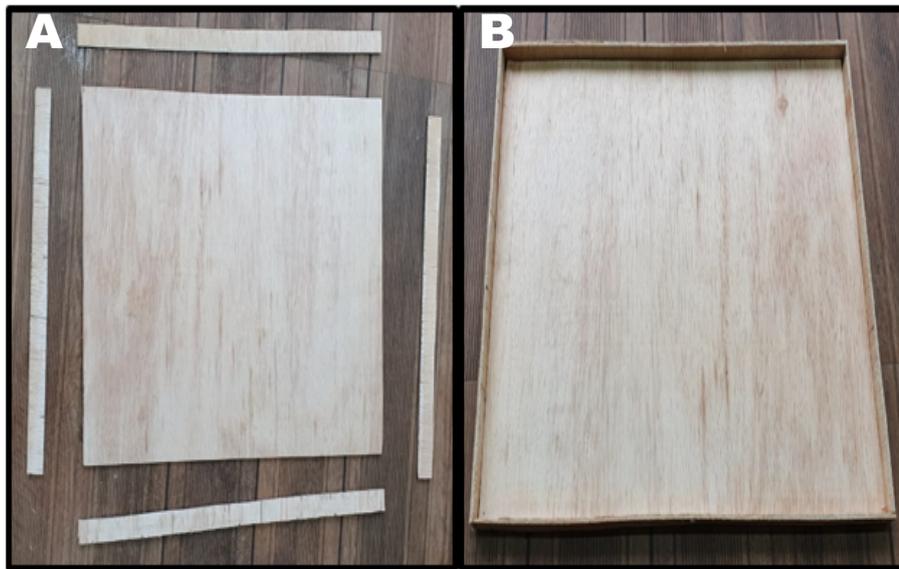
Fonte: Autor

A dimensão da laje da maquete para validação do conceito, implica diretamente no tipo de material empregado na construção do protótipo, bem como no seu método construtivo que deve ser similar ao empregado comumente nas obras civis. Assim, visando um paradigma mais próximo possível da realidade, optou-se por utilizar o seguinte material:

- Madeira compensada de 4mm: para execução das formas e dos pilares estruturais da maquete;
- Fios de arame nº 10, 16 e 22: para execução das armaduras, visando simular toda ferragem;
- Tela aramada quadriculada com 7x7mm: para execução das armaduras, visando simular toda ferragem;
- Cimento;
- Areia;
- Pedra britada nº1;
- Água.

Inicialmente, objetivando produzir o piso da maquete e a fundação da obra em escala, desenvolveu-se uma base retangular utilizando madeira compensada de 4mm de espessura, conforme ilustrado na figura 6A. A figura 6B ilustra a base montada com dimensões de 40cm de largura, 50cm de comprimento e 2cm de altura.

Figura 3 - Construção do piso para maquete



Fonte: Autor

Para sustentar a laje de teste que serviu como validação do sistema de automação para cura úmida do concreto, optou-se por realizar também com madeira compensada de 4mm quatro pilares, utilizando as medidas externas de 4,5cm de largura, 3,5cm de comprimento e 18cm de altura. Neste momento foram utilizados para estrutura arame nº 10, com estribos em arame nº 16, amarrados com arame nº 22 nas 4 extremidades. Os arames nº 10 foram cortados com 45cm com objetivo de realizar uma dobra de 15cm para fazer a amarração com a tela aramada quadriculada de medidas 40cm de largura por 50cm de comprimento da estrutura do piso, como ilustrado respectivamente nas figuras 7 e 8.

Figura 4 - Construção dos pilares de sustentação



Fonte: Autor

Figura 5 - Amarração dos pilares no piso



Fonte: Autor

Para manter o alinhamento foram utilizadas escoras produzidas em madeira compensada também de 4mm, mas com 1cm de largura, mantendo a angulação dos pilares em 90°, fixados de forma diagonal conforme ilustrado na figura 9.

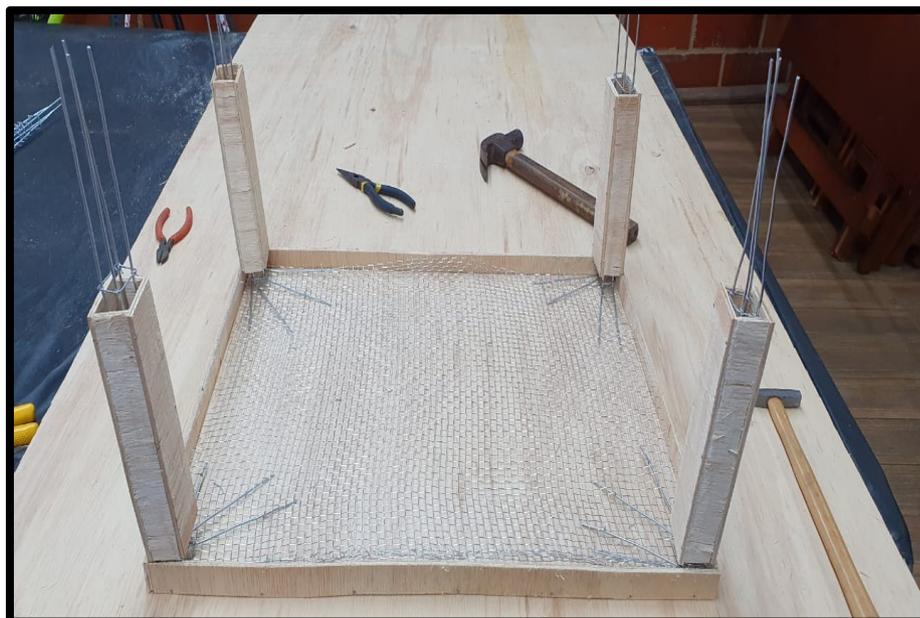
Figura 6 - Escoras de alinhamento dos pilares



Fonte: Autor

A figura 10 ilustra a estrutura do piso e pilares praticamente prontos aguardando apenas a concretagem.

Figura 7 - Piso e pilares prontos para concretagem



Fonte: Autor

Para produção das vigas e da laje de testes foi construído uma forma com madeira compensada 4mm medindo 40cm de largura, 50cm de profundidade e 3,5cm de altura. Destaca-se que foram deixadas aberturas nas quatro laterais para encaixe das ferragens dos pilares e posteriormente para amarração com as vigas, conforme ilustrado na figura 11.

Figura 8 - Forma para laje de teste



Fonte: Autor

Após o encaixe da forma foram produzidas as estruturas para as vigas com arame nº 22, estribos em arame nº 16 e amarrados nas quatro extremidades com arame nº 10. Além disso, foram realizadas dobras nas extremidades das vigas para amarração junto aos pilares, conforme ilustrado na figura 12A. A figura 12B demonstra a junção das duas vigas.

Figura 9 - Amarração das vigas



Fonte: Autor

Com toda estrutura amarrada, realizou-se o primeiro traço para concretagem do piso, pilares e vigas. A proporção do traço utilizado em todos os procedimentos deste trabalho foi o traço nº 08, da Tabela prática de traços de concreto para uso em obras de Caldas Branco ilustrada na figura 13

Figura 10 - Tabela Caldas Branco

TRAÇOS EM VOLUME	NOSSAS PADIOLAS TERÃO SEMPRE DE BOCA 45,0 X 35,0 CM. PROCURE AS ALTURAS												Nº DE ORDEM NO PROGRAMA DE ESTUDOS					
	ALTURAS DAS PADIOLAS EM CENTÍMETROS			NÚMERO DE VIGAS OU PADIOLAS POR TRAÇO DE 1 SACO DE CIMENTO		FATORES		RENDIMENTOS POR SACO Litros		CONSUMO POR M³ DE CONCRETO FRESCO				RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PROVAVEIS KG/CM²	TRAÇOS EM PESO CORRESPONDENTES			
	ÁREA CM	BRITA Nº 1 CM	BRITA Nº 2 CM	ÁREA Nº 1	BRITA Nº 2	LITRO / KG CIMENTO	LITRO / KG CIMENTO	LITRO / SACO	LITRO / SACO	CIMENTO	ÁREA					ÁGUA		
											SECA Litros	ÚMIDA Nº 1 Litros		BRITAS Nº 1 Litros	Nº 2 Litros			
1 : 1 : 2	28,7	22,4	22,4	1	1	0,44	2,27	22,0	97,2	514	363	363	226	228	300	400	1,08 : 1,96	TRAÇO Nº 01
1 : 1 1/2 : 3	21,5	33,6	33,6	2	1	0,49	2,04	24,5	129,2	387	7,7	273	409	188	254	350	1,63 : 2,94	TRAÇO Nº 02
1 : 2 : 2 1/2	28,7	28,1	28,1	2	1	0,55	1,82	27,5	133,2	374	7,5	264	528	148	208	298	2,17 : 2,44	TRAÇO Nº 03
1 : 2 : 3	28,7	33,6	33,6	2	1	0,61	1,64	30,5	145,5	344	6,9	243	486	117	172	254	2,17 : 2,94	TRAÇO Nº 04
1 : 2 1/2 : 3	23,9	33,6	33,6	3	1	0,65	1,54	32,5	157,9	319	6,4	225	562	100	150	228	2,71 : 2,94	TRAÇO Nº 05
1 : 2 : 4	28,7	22,4	22,4	2	2	0,68	1,47	34,0	188,3	297	5,94	210	420	90	137	210	2,17 : 3,92	TRAÇO Nº 06
1 : 2 1/2 : 3 1/2	23,9	19,6	19,6	3	2	0,71	1,41	35,5	170,6	293	5,86	207	517	80	123	195	2,71 : 3,42	TRAÇO Nº 07
1 : 2 1/2 : 4	23,9	22,4	22,4	3	2	0,73	1,37	36,5	181,2	276	5,5	195	487	74	114	185	2,71 : 3,92	TRAÇO Nº 08
1 : 2 1/2 : 5	23,9	28,0	28,0	3	2	0,79	1,27	39,5	203,3	246	4,9	174	435	58	94	157	2,71 : 4,89	TRAÇO Nº 09
1 : 3 : 5	28,7	28,0	28,0	3	2	0,88	1,14	44,0	218,1	229	4,6	162	486	40	70	124	3,25 : 4,89	TRAÇO Nº 10
1 : 3 : 6	28,7	33,6	33,6	3	2	0,95	1,05	47,5	240,9	208	4,2	147	441	30	54	100	3,25 : 5,87	TRAÇO Nº 11
1 : 4 : 8	28,7	29,9	29,9	4	3	1,20	0,83	60,0	312,5	161	3,2	114	456	NÃO	NÃO	NÃO	4,34 : 7,83	TRAÇO Nº 12

PROJETADO E REALIZADO PELO
ENGENHEIRO CIVIL
Abílio de Azevedo CALDAS BRANCO

Fonte: <https://silو.tips/download/tabela-de-bet343oxls-faa-voce-mesmo>

O concreto foi derramado de forma lenta com auxílio de uma colher de pedreiro, respeitando todo o preenchimento da estrutura do piso. Visando auxiliar no preenchimento das vigas e colunas foi realizada uma vibração gerada por leves impactos às paredes da estrutura e uso de um fio de arame nº 22. A figura 14A ilustra o processo de concretagem do piso, dos pilares e das vigas da maquete. A figura 14B demonstra o processo de concretagem concluído.

Figura 11 - Concretagem do piso, pilares e vigas

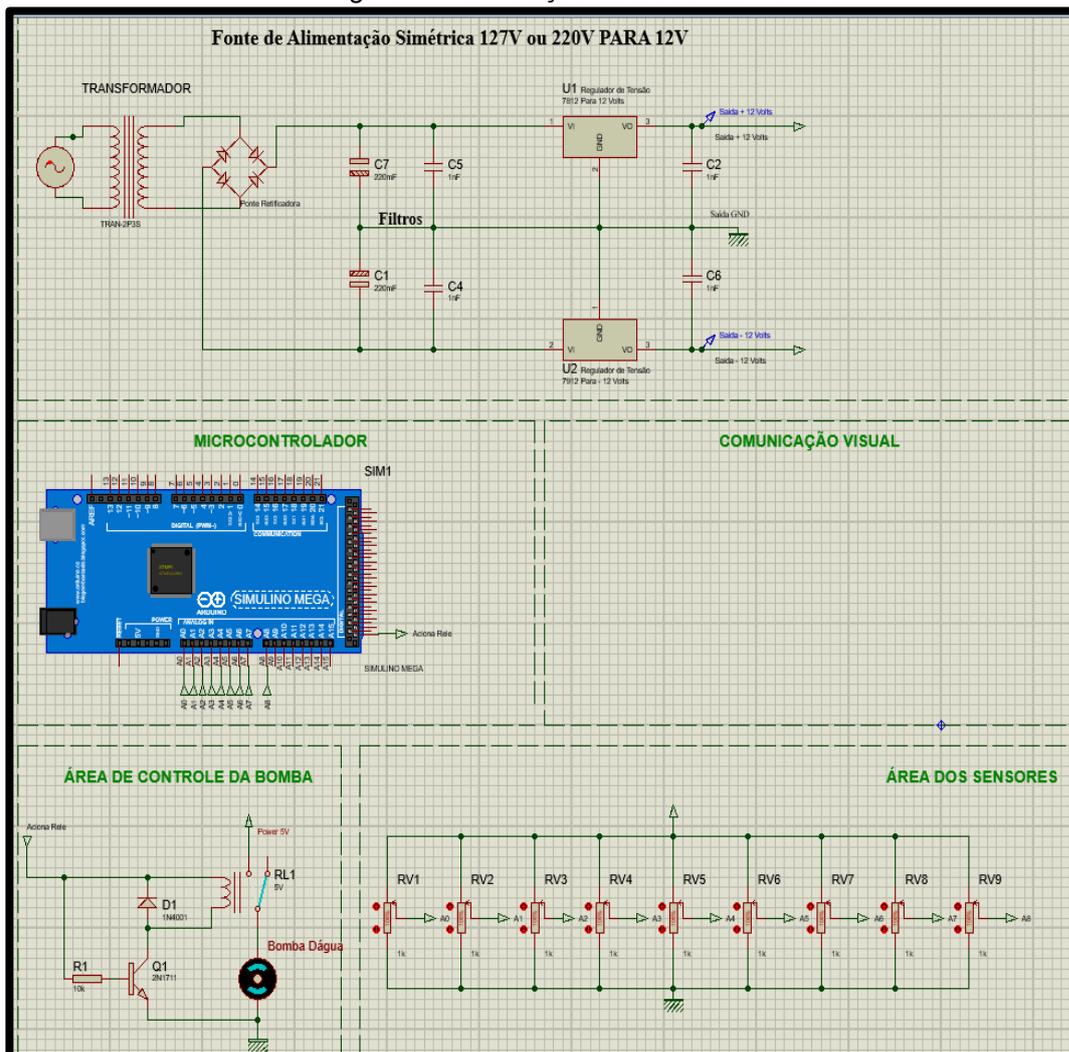


Fonte: Autor

DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE CONTROLE

Todo o *hardware* necessário foi projetado com auxílio *software* Proteus, o qual agrega o ambiente de simulação de circuitos eletrônicos do programa ISIS ao programa ARES para desenho de circuito impresso. Logo, este tópico será subdividido em duas etapas: o desenvolvimento do *layout* do circuito para fabricação da placa e a simulação computacional do circuito. Este *software* é amplamente utilizado em atividades acadêmicas nos cursos de graduação, sendo através dele possível comprovar a eficácia do sistema desenvolvido antes mesmo de embarcar toda eletrônica na maquete. A figura 15 ilustra a simulação eletrônica do *hardware* no programa ISIS, o qual será descrito mais adiante nesta seção.

Figura 12 – Simulação da eletrônica no ISIS



Fonte: Autor

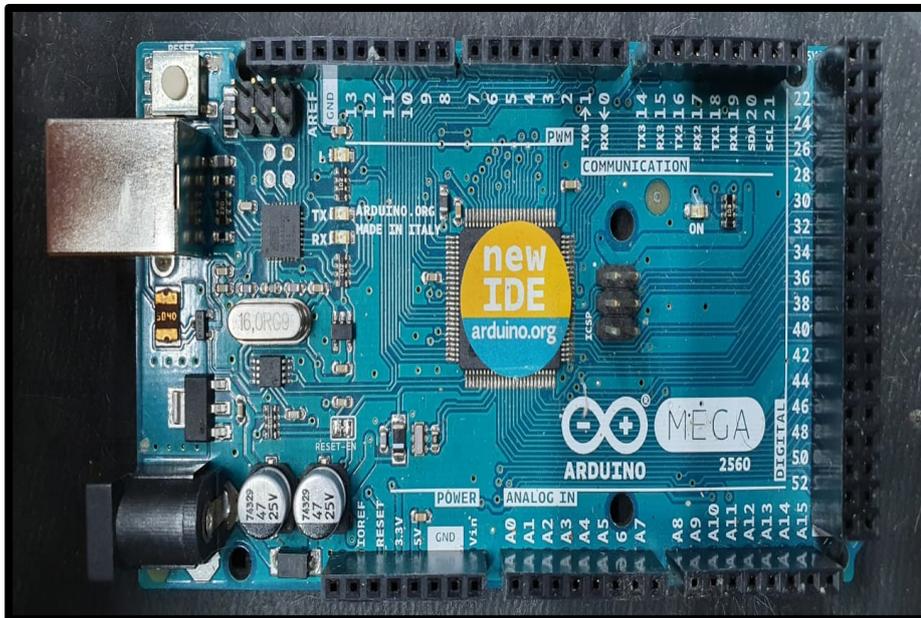
DEFINIÇÃO DO MICROCONTROLADOR

Após uma vasta pesquisa e avaliação da relação custo/benefício que os diversos microcontroladores disponíveis no mercado oferecem, além da facilidade de encontrar os modelos existentes no mercado, optou-se por utilizar o microcontrolador ATmega 2560 para o desenvolvimento deste projeto. Dentre os fatores decisivos para esta escolha, o fato deste microcontrolador ser encontrado em placas já desenvolvidas e testadas – Arduino reduz o tempo de prototipagem do projeto. O Arduino é uma plataforma de computação *open-source* baseado em um microcontrolador com entradas e saídas tanto digitais como analógicas. Possui um ambiente próprio de desenvolvimento que utiliza a linguagem C de programação. O Arduino atualmente tem sido bastante usado para desenvolver objetos interativos autônomos, uma vez que seu ambiente de desenvolvimento *open-source* pode ser obtido gratuitamente para os sistemas OS X, Windows, e Linux.

O Arduino Mega 2560 R3 é uma placa que utiliza o microcontrolador Atmega 2560. Devido às características deste microcontrolador, esta placa possui 54 pinos digitais (entrada/saída), sendo que 15 podem ser utilizados como saídas do tipo PWM, que serão detalhadas mais adiante. Além disso, esta placa oferece 16 pinos analógicos de entrada, 4 USARTs (Portas Seriais de Hardware) essenciais para realizar as leituras dos sensores físico-químicos deste projeto, um cristal oscilador de 16 MHz, entrada USB, entrada de

alimentação e soquete de comunicação ICSP. Assim, esta placa oferece todo o ferramental necessário para utilização de todos os recursos do microcontrolador ATmega 2560, sendo uma ótima opção de utilização. A figura 16 ilustra a placa do Arduino Mega 2560 R3.

Figura 13 - Arduino Mega 2560



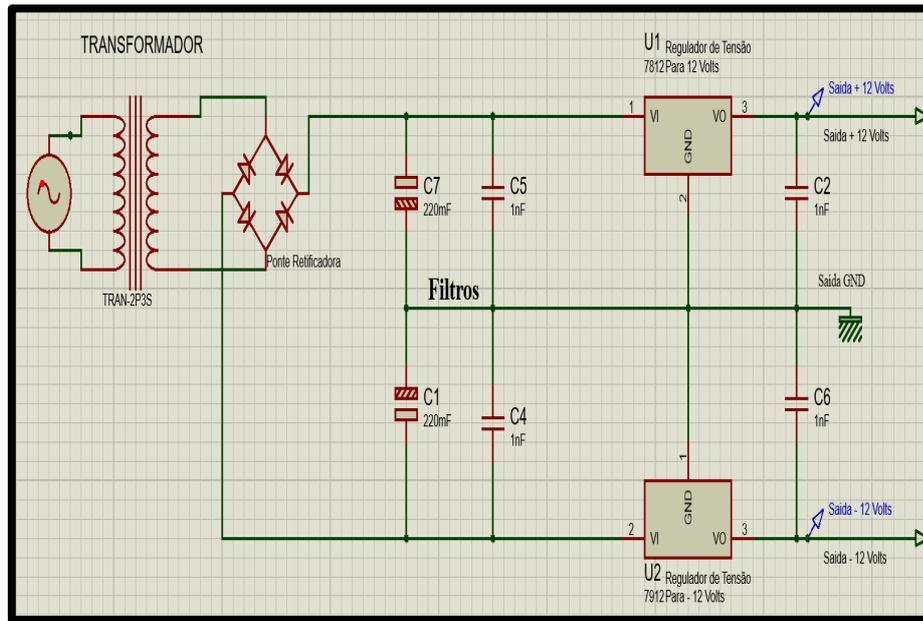
Fonte: Autor

FONTE DE ALIMENTAÇÃO SIMÉTRICA

Conforme mencionado anteriormente, a fonte de alimentação é um elemento de extrema importância para converter a tensão alternada que se encontra em alguma tomada da obra, em uma tensão contínua que será utilizada pelo microcontrolador e pelos sensores de umidade. Assim, fez-se necessário o desenvolvimento do projeto de uma fonte DC 12V para suprir alimentação do Arduino Mega 2560, a bomba, a válvula solenóide, bem como uma fonte DC 3.3V para suprir alimentação dos sensores. Além disso, optou-se por desenvolver uma fonte simétrica em caso de haver necessidade de ser utilizados amplificadores operacionais para algum sinal dos sensores. Uma fonte simétrica de alimentação é formada basicamente por duas fontes de alimentação com um de seus terminais ligados ao complementar da outra fonte. O terminal comum é ligado ao GND (*Ground* – Terra em inglês) do sistema que formará a referência. Dessa maneira, efetuando a medição das duas tensões em referência ao GND, obteremos duas fontes com polaridades invertidas de +12V e -12V (VILEFORT et al., 2010).

Destaca-se que inicialmente uma tensão alternada no valor de 127 V chega no primário do transformador, sendo esta a primeira etapa do circuito. Neste momento, o transformador abaixa o nível da tensão AC para um valor utilizável no projeto. Entretanto, sistemas eletrônicos são dimensionados para correntes e tensão DC, devendo então ser retificado este sinal para posterior uso do sistema eletrônico. Logo, na segunda etapa a tensão alternada é retificada através de uma ponte de diodos, produzindo assim uma saída DC na ponte de diodo. Por último, torna-se necessário que ocorra a filtragem do sinal, sendo a tensão regulada para +12V pelo regulador de tensão 7812, bem como regulada para -12V pelo regulador de tensão 7912. A figura 17 ilustra o circuito supracitado.

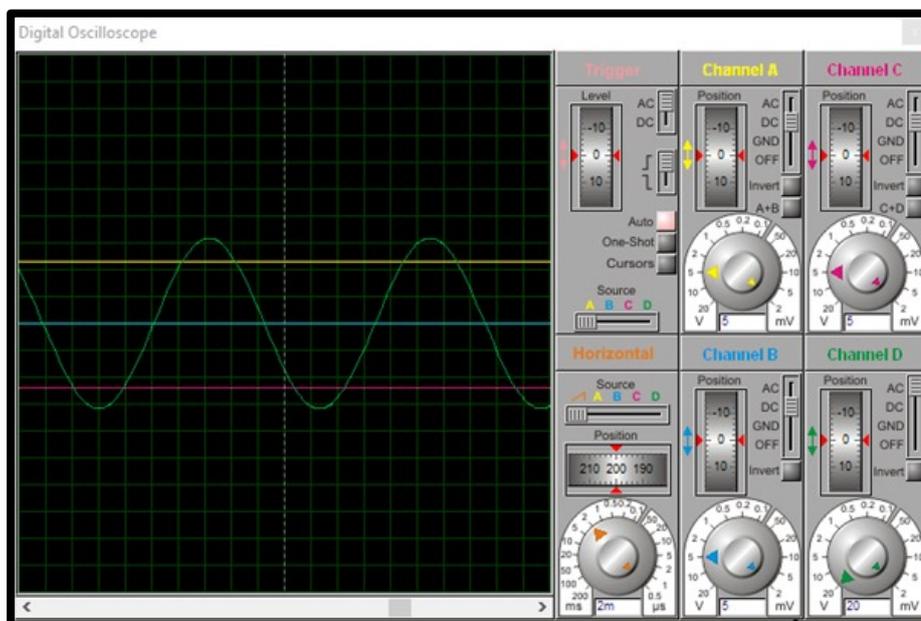
Figura 14 - Fonte de alimentação no ISIS do Proteus



Fonte: Autor

Registra-se que o *software* utilizado tem várias ferramentas de análise de circuitos, sendo uma delas o osciloscópio. Assim, a figura 18 ilustra através do sinal verde o sinal senoidal que chega ao transformador de 127V AC, em amarelo o sinal +12V DC já corrigido pela ponte retificadora e pelos filtros, já em azul está sendo representado o sinal que sai do GND e possui valor de 0V e por último em rosa é representado o sinal de -12V DC, evidenciando o correto funcionamento da fonte.

Figura 15 - Osciloscópio digital



Fonte: Autor

Apesar do correto funcionamento do circuito, visando diminuir o tempo de prototipagem do sistema, optou-se posteriormente por utilizar uma fonte já disponível no

mercado que atendesse às especificações necessárias. Assim, utilizou-se respectivamente para alimentação da bomba da maquete e do Arduino uma fonte modelo C12V, com entrada AC100-240V 50/60Hz e saída DC 12V- 2A, bem como a fonte do fabricante Leader Electronics INC, modelo MU12-210901QN6S, com entrada 100-240V 50/60Hz e saída 9V-1A, conforme ilustradas na figura 19 e 20.

Figura 16 - Fonte de alimentação 12V



Fonte: Autor

Figura 17 - Fonte de Alimentação 9V

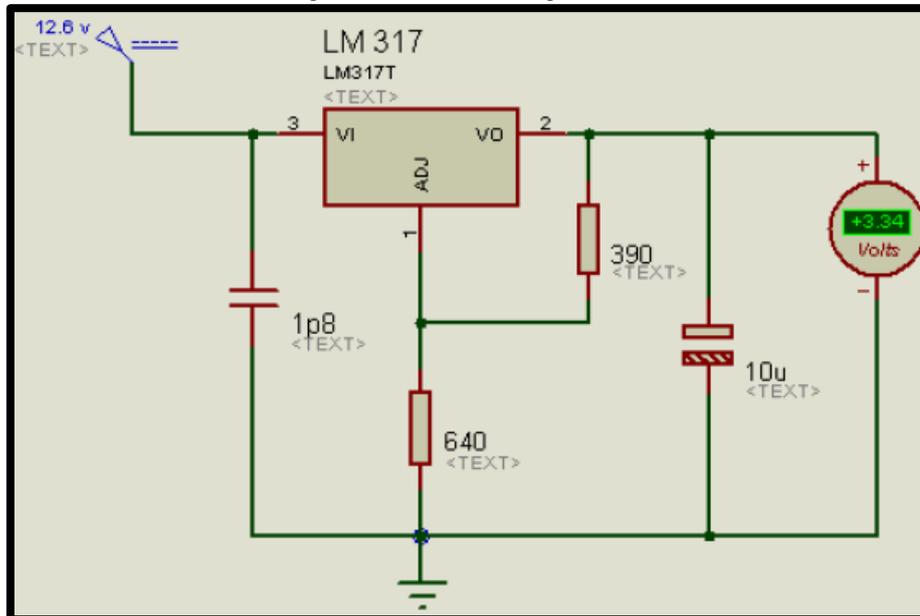


Fonte: Autor

Como mencionado anteriormente, os sensores necessitam de uma tensão de alimentação de 3.3 V requerendo nova necessidade de regular a tensão, uma vez que o circuito descrito fornece uma tensão 12V DC. Logo, optou-se por utilizar o regulador de tensão linear LM2937-3.3 do fabricante *Texas Instruments*, que é de fácil acesso no

mercado e possui capacidade de fornecer até 0.5 A para esta função. Além disso, utilizaram-se alguns capacitores entre a saída e o terra do regulador com o objetivo de realizar um filtro passa baixa, diminuindo assim possíveis ruídos. A figura 21 ilustra a representação esquemática do circuito projetado e simulado no *software* ISIS.

Figura 18 - Circuito regulador de 3.3V

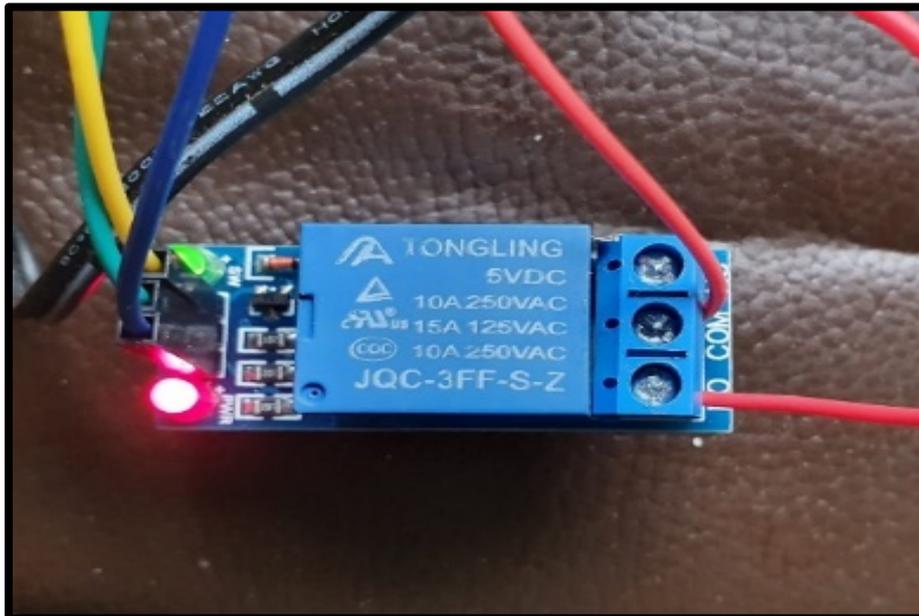


Fonte: Autor

MÓDULO RELÉ

De forma análoga a fonte, objetivando reduzir o tempo de prototipagem, inicialmente foi decidido utilizar um módulo relé para o acionamento da bomba, uma vez que se faz necessário integrar o comando de liga e desliga da bomba com o Arduino e o pino do microcontrolador não consegue suprir a demanda de corrente. Isso ocorre porque o microcontrolador não foi idealizado para ser uma eletrônica de potência, mas sim um dispositivo de controle, fornecendo em média 50 mA em cada pino. Dado o exposto, utilizou-se um módulo relé de 1 canal 5V compatível com Arduino, sendo equipado com um relé do fabricante *Tongling* com carga nominal 10A/250VAC, 10A/125VAC, 10A/30VDC. A figura 22 ilustra o respectivo módulo.

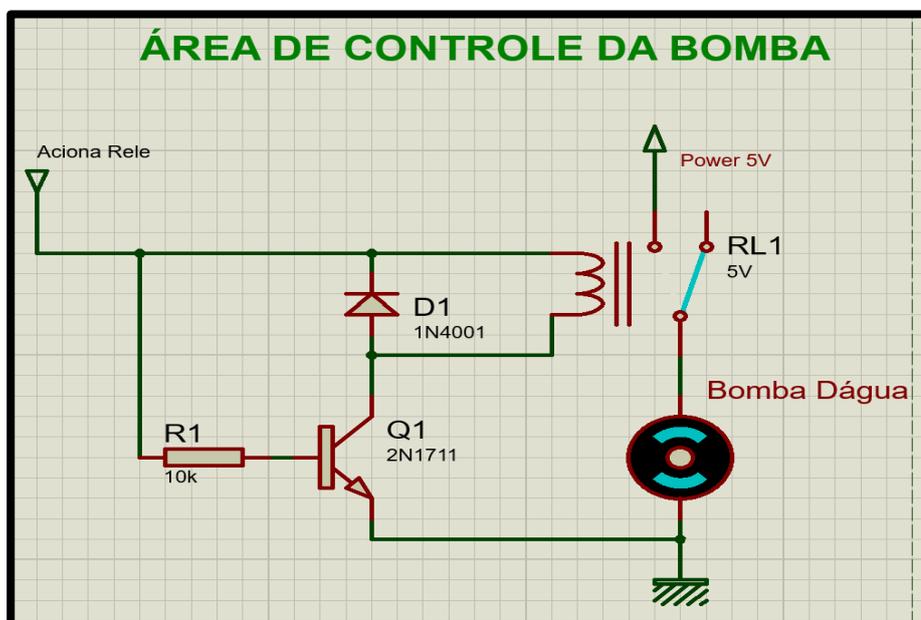
Figura 19 – Módulo relé para Arduino.



Fonte: Autor

Apesar da utilização do módulo, realizou-se uma simulação no *software* Proteus para ser testada a viabilidade da técnica, bem como a lógica de programação, antes mesmo de ser montado o circuito de acionamento da bomba. A figura 23 ilustra a simulação realizada. Assim, dependendo da leitura dos sensores, a lógica do Arduino envia um sinal para acionamento do relé e conseqüentemente acionamento da bomba.

Figura 20 - Simulação do circuito do relé.



Fonte: Autor

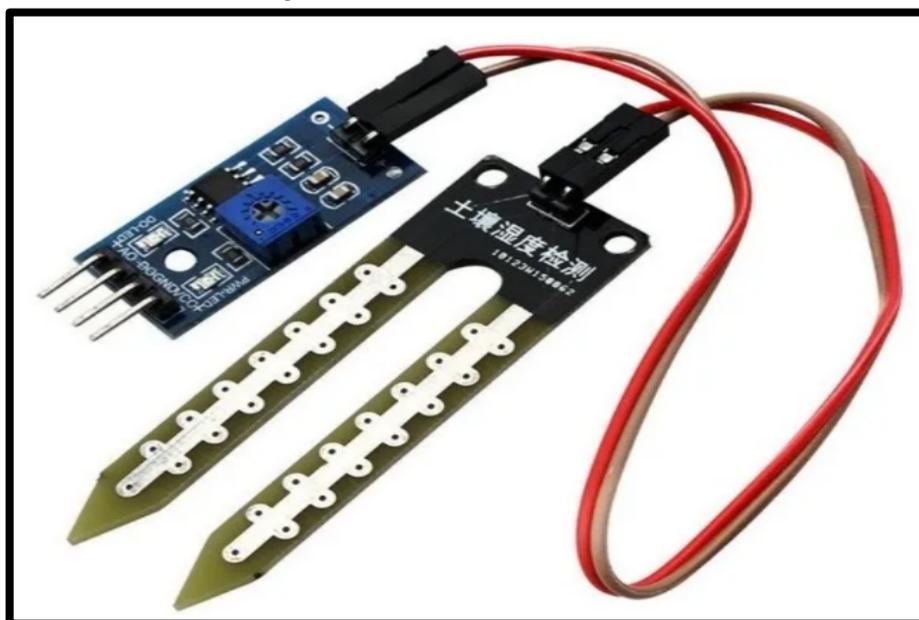
SENSOR

No âmbito dos sensores de umidade, adotou-se como parâmetro de escolha a faixa de leitura, bem como o custo e sua disponibilidade no mercado, uma vez que em uma obra real, após o mesmo ser utilizado no concreto deverá ser descartado e substituído por outro

sensor. Assim, decidiu-se testar dois tipos de sensores com princípios de funcionamento distintos: o primeiro resistivo e o segundo capacitivo.

Logo, optou-se para o sensor resistivo um módulo de umidade de solo compatível com o Arduino. Este módulo é composto por duas sondas que realizam a medição da umidade por meio da aferição da corrente entre as sondas e, por um circuito com um potenciômetro que ajusta a sensibilidade. Assim, este sensor de umidade consiste em 2 partes: uma sonda que entra em contato com o solo, neste projeto o concreto, bem como um pequeno módulo contendo um chip comparador LM393 que vai ler os dados que vêm do sensor e enviá-los para o microcontrolador. Como saída, pode-se utilizar pinos digitais, que fica em nível 0 ou 1 dependendo da umidade ou pinos de saída analógica que possibilitam monitorar com maior precisão a umidade. O módulo tem um led que indica quando a placa está sendo alimentada corretamente, e outro que acende quando a saída digital for acionada. A dimensão da sonda é de 6 cm x 2 cm e sua tensão de operação 3,3 – 5V, apresentando leitura analógica alta para estado seco e baixa para úmido. A figura 24 ilustra o sensor resistivo.

Figura 21 – Sensor resistivo



Fonte: Autor

No que tange ao sensor capacitivo, a grande vantagem é que ele evita a corrosão por não criar um efeito galvânico, o que aumenta significativamente a vida útil do sensor principalmente em um ambiente como o concreto. De forma análoga, optou-se por um sensor cujo módulo é compatível com o Arduino, possuindo uma faixa de operação de 3.3 – 5V e dimensões de 22 mm x 102 mm x 7 mm. Sua faixa de leitura analógica para umidade é 520-430 para ambiente seco, 430-350 para úmido e 350-260 para molhado. O funcionamento do sensor se baseia na alteração da capacitância a partir da umidade do solo que neste projeto será o concreto. Para isso, existem dois eletrodos na placa do sensor que ficam distantes um do outro. É possível notar estes dois eletrodos no sensor reparando que eles formam um relevo na superfície da placa. Além disso, deposita-se uma camada de um material dielétrico ao redor deles. Essa camada garante a proteção contra a corrosão e forma um capacitor com os dois eletrodos. Entretanto, a camada não preenche todo o espaço entre os eletrodos, sendo assim, o concreto pode preencher este espaço sem

problemas. E, como o meio entre os dois capacitores dita o valor da capacitância, o concreto é capaz de alterar a capacitância do circuito. Por fim, o concreto úmido e o seco irão provocar variações diferentes na capacitância, resultando em leituras diferentes para os dois casos, conforme supracitado. A figura 25 ilustra o sensor capacitivo descrito.

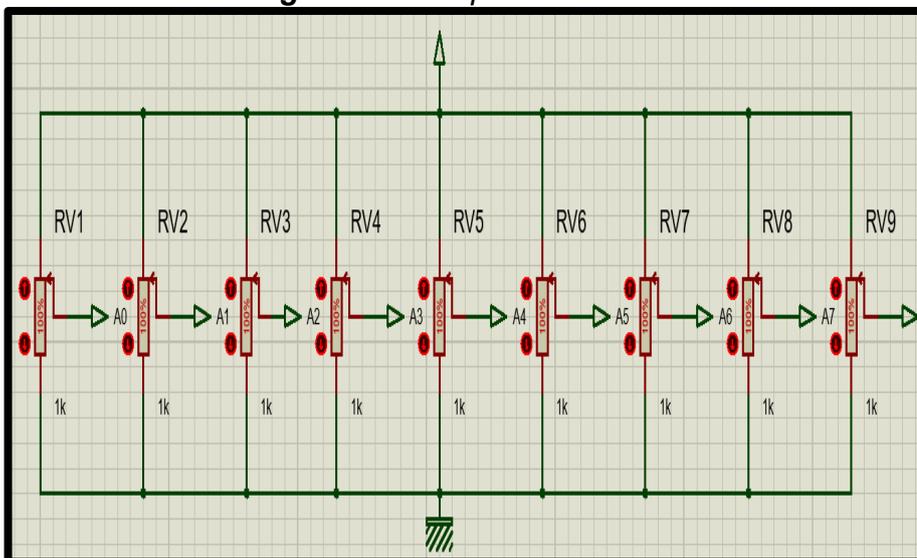
Figura 22 - Sensor capacitivo



Fonte: Autor

Finalmente, destaca-se a necessidade de implementação dos sensores na simulação eletrônica. Assim, optou-se por utilizar a leitura analógica de potenciômetros, conforme ilustrado na figura 26, visando simular os sensores resistivos e capacitivos descritos anteriormente.

Figura 23 - Esquemático do sensor



Fonte: Autor

BOMBA E ASPERSOR

Objetivando utilizar uma bomba de baixo custo para maquete, bem como um equipamento que garantisse o recalque de forma eficiente da linha e o correto funcionamento dos aspersores, optou-se por utilizar uma bomba 12V de para-brisa de carro, sendo reutilizado neste projeto uma bomba adquirida em um ferro velho, extraída do veículo modelo Punto da marca Fiat, conforme ilustrado na figura 27.

Figura 24 - Bomba centrífuga



Fonte: Autor

No âmbito dos aspersores, utilizou-se um bico nebulizador de baixa pressão da marca Nutrijard, conforme ilustrado na figura 28, de dimensões 19mm x 47 mm com regulagem individual do jato de aspersão desde um raio de 10 cm até 150 cm.

Figura 25 – Aspersor

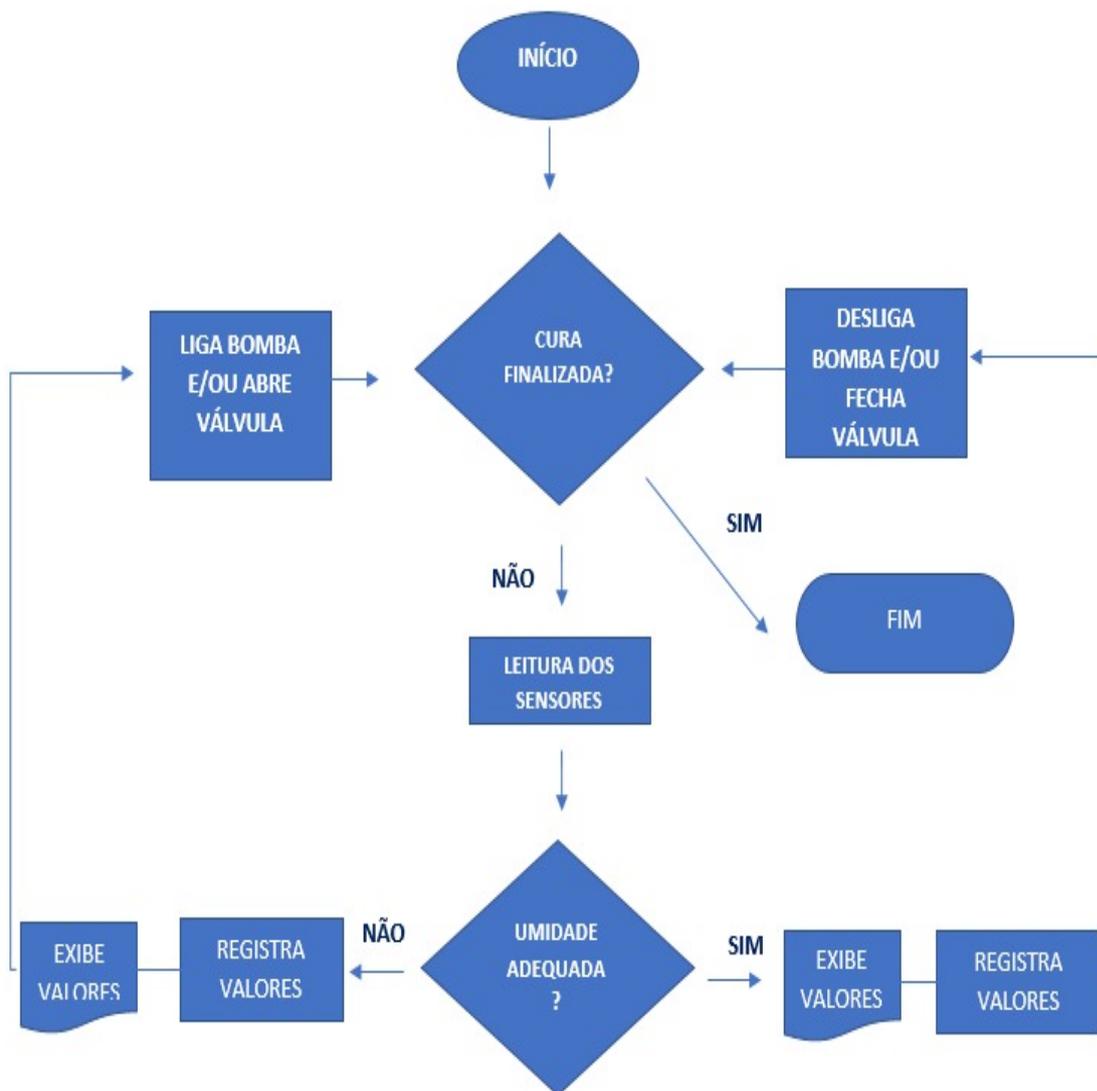


Fonte: Autor

LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO

Inicialmente o programa realiza a varredura das entradas do microcontrolador, que expressam as leituras dos sensores, verificando dentro de uma condição *iff*, se está ou não dentro de um determinado parâmetro. Caso a média das leituras dos sensores não atenda os parâmetros, o sistema irá registrar e exibir os valores, encaminhando um comando para ligar a bomba e/ou o mecanismo de abertura da válvula. Entretanto se a média das leituras atender os parâmetros, os valores serão registrados, exibidos e um comando será enviado para desligar a bomba e/ou fechar o mecanismo da válvula. Este funcionamento se dá em um sistema cíclico fechado até que a cura seja finalizada. O fluxograma da figura 29 ilustra o texto supracitado.

Figura 26 – Lógica da programação



Fonte: Autor

ESTUDO DE CASOS

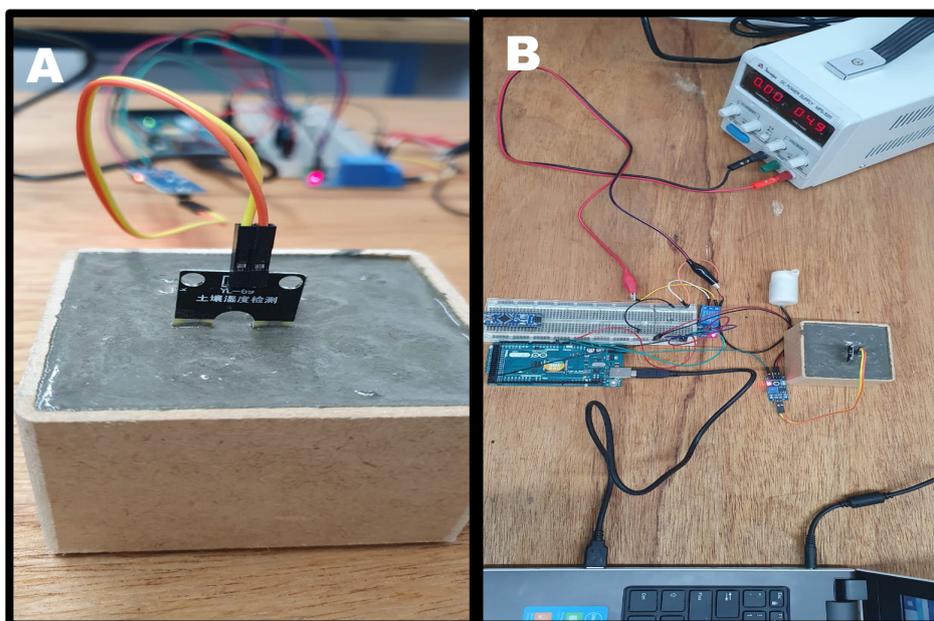
Após a finalização do desenvolvimento dos *hardwares* e da lógica de programação, estes foram avaliados com relação às funcionalidades desejáveis, bem como a eficácia do sistema de controle da cura úmida do concreto. Para isto, selecionou-se um conjunto de testes preliminares visando verificar a eficiência e o funcionamento dos sensores, bem como da bomba. Assim, realizou-se alguns testes individuais simulando seu funcionamento no protótipo final da maquete, objetivando avaliar:

- O posicionamento ideal do sensor;
- A vida útil do sensor quando utilizado no concreto;
- A coerência das leituras dos sensores;
- A capacidade de armazenamento e organização dos dados obtidos pelas leituras;
- O acionamento e o desempenho da bomba.

TESTE 01

Utilizou-se um recipiente de madeira compensada com espessura de 4mm e dimensões externas de 5 cm x 5 cm x 6 cm, com preenchimento em concreto (proporção do traço 8 da tabela de Caldas Branco), visando testar o posicionamento do sensor resistivo, o seu funcionamento e o comportamento da umidade presente no concreto durante o processo. Adotou-se o posicionamento do sensor de forma vertical ao recipiente, cobrindo o mesmo com concreto por toda sua superfície. Este posicionamento foi inicialmente considerado, visando verificar a possibilidade do sensor medir a umidade por toda espessura do concreto, bem como testar a sua resistência ao trabalhar submerso. A figura 30A ilustra o posicionamento do sensor, enquanto a figura 30B demonstra a organização dos equipamentos eletrônicos para o monitoramento das leituras de umidade.

Figura 27 - Teste 01

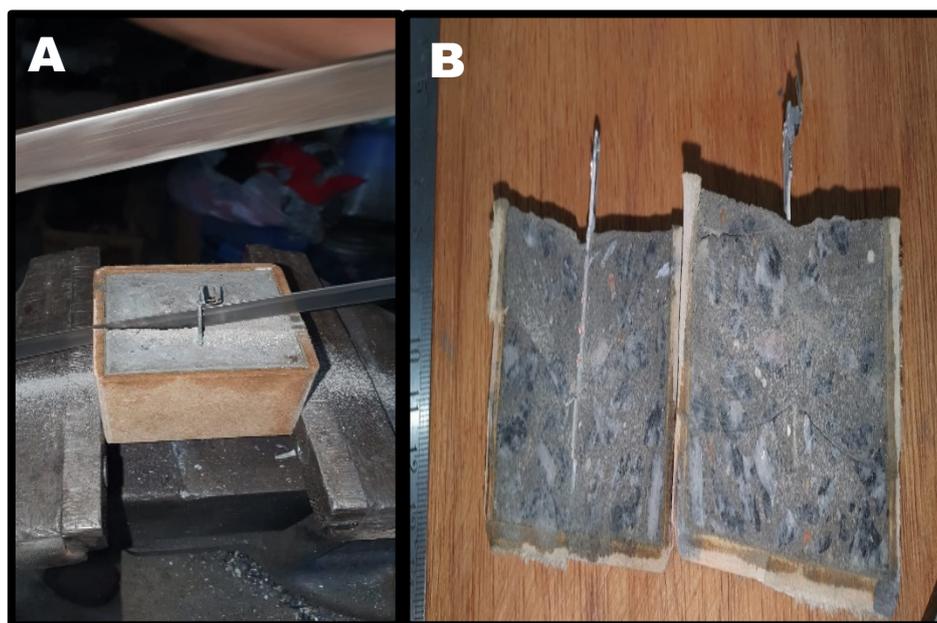


Fonte: Autor

Este teste foi realizado com impressão de leituras em intervalos de 15 minutos por um período de 2 dias, apresentando valores de leitura coerentes até um dado período. A partir do segundo dia o sensor parou de realizar as leituras.

Para maior aprofundamento do estado do concreto e do sensor, realizou-se um corte do corpo de prova, conforme ilustra a figura 31A, evidenciando que o interior do concreto apresentava umidade elevada, totalmente diferente da superfície exposta, que se encontrava totalmente seca ao toque. A figura 31B apresenta o interior do corpo de prova.

Figura 28 - Corte do corpo de prova



Fonte: Autor

Os valores de leitura dos dois dias de teste e as observações realizadas corroboram com as literaturas estudadas, demonstrando a permanência de umidade no interior do concreto e o processo de perda da água superficial devido ao contato com o ambiente que favorece as trocas de temperatura e, conseqüentemente, perda de umidade.

A durabilidade do sensor, a priori, não se demonstrou satisfatória por seu curto período de funcionamento, visto que, a normatização brasileira exige que a cura seja realizada nos sete primeiros dias a partir do lançamento do concreto, mas, para maior segurança, deseja-se que este período se estenda até o décimo quarto dia, para que haja garantia de não aparecimento de fissuras provocada pela retração do concreto (Araújo, Rodrigues e Freitas, 2010).

Em função da pandemia da COVID-19, da disponibilidade do mercado e do custo, os sensores foram adquiridos de forma online, porém a entrega do sensor capacitivo não foi realizada dentro do prazo estabelecido no momento da compra, o que inviabilizou sua utilização do sensor capacitivo neste teste.

TESTE 02

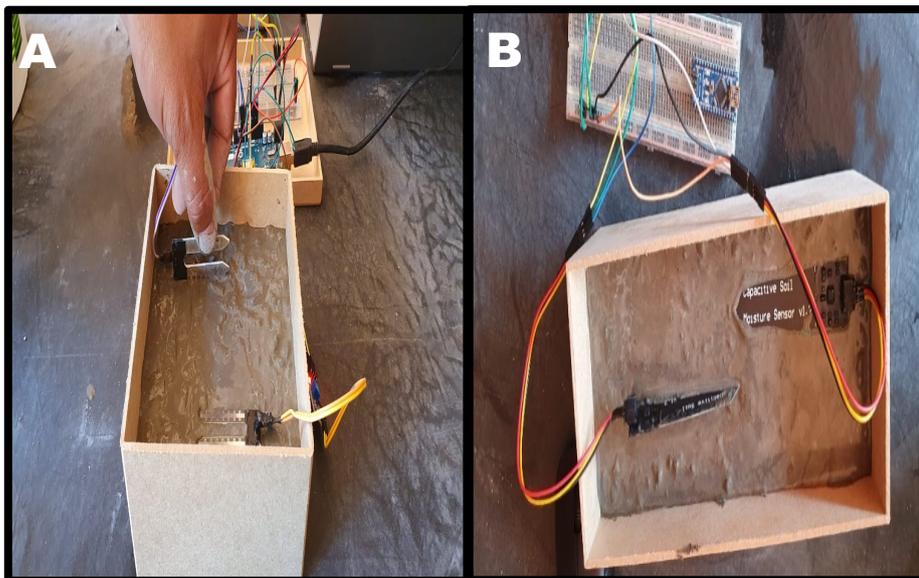
Para este teste foi utilizado 2 recipientes com medidas de 15 cm x 15 cm x 7cm e 25 cm x 10 cm x 7 cm respectivamente, preenchido com concreto com o mesmo traço do teste anterior. Para cada recipiente utilizou-se duas unidades de cada tipo de sensor (capacitivo

e resistivo) sendo alternados seus posicionamentos. Uma unidade foi posicionada no sentido horizontal em pé e outra no sentido horizontal deitado, todos situados a uma distância da superfície, correspondente à 40% da espessura do concreto do corpo de prova e cobertos por concreto até o total de 100% da capacidade do recipiente. Este posicionamento visa uma tentativa de adaptação do *Standard Test Method, Designation F2170-11 – ASTM International*, que descreve a troca de umidade com o ambiente ocorrendo até a profundidade de 40% da superfície. Através desta adaptação espera-se uma leitura mais satisfatória com relação à oscilação de umidade durante o processo de cura.

Optou-se por realizar um novo teste com o sensor resistivo, verificando se, de fato, a falha no seu funcionamento observada no teste 01 está realmente relacionada à falta de resistência do sensor ou, se por ventura, aquele sensor específico apresentava alguma falha em sua fabricação. Levou-se em consideração também o baixo custo do sensor e sua disponibilidade no mercado, visto que este trabalho tem como um de seus objetivos ser o mais econômico e viável possível. Também se optou por recipientes de tamanhos distintos, pois os sensores possuem tamanhos diferentes e com isso seria possível aproximar a área de cobertura e distanciamento de ambos. O intervalo de impressão e a duração das leituras foi mantido em 15 min por 2 dias.

A figura 32A ilustra o posicionamento dos sensores resistivos e a figura 32B demonstra os sensores capacitivos.

Figura 29 - Teste 02



Fonte: Autor

Neste teste pôde-se observar uma leitura coerente dos sensores, com valores representativos da oscilação de umidade. O sensor resistivo novamente apresentou falha de funcionamento no segundo dia de leitura, o que validou sua baixa resistência ao trabalhar totalmente submerso no concreto, enquanto o sensor capacitivo manteve seu processo de leitura.

Este teste auxiliou no entendimento do processo de perda de umidade, reforçando que esta perda é reduzida quando se permanece com a superfície úmida, comprovando-se pelos valores das leituras dos sensores a manutenção da umidade quando em presença

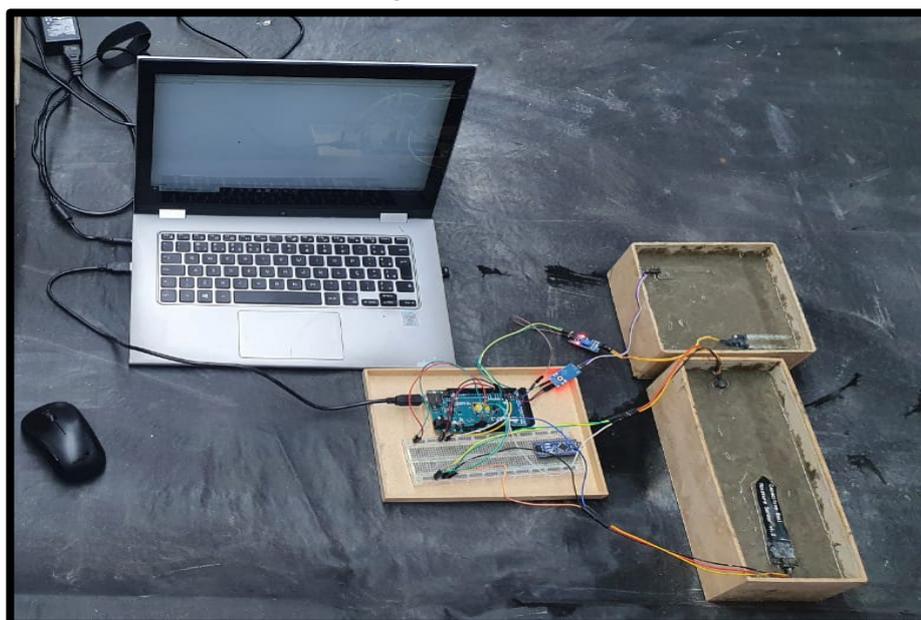
de irrigação (primeiro dia) e uma perda de umidade quando em ausência de irrigação (segundo dia).

TESTE 03

Este teste representa um novo olhar no que tange o posicionamento dos sensores frente ao objetivo principal de manter a superfície úmida o suficiente para executar um bom processo de cura do concreto. Neste houve o reaproveitamento dos recipientes e do sensor capacitivo (testado externamente e comprovado seu pleno funcionamento), com o olhar da sustentabilidade, visto que a maioria dos seus componentes se apresentavam íntegros, não oferecendo comprometimento para alterar a realidade do teste a ser realizado.

Os sensores foram posicionados à cerca de 1mm de profundidade, estando expostos e não cobertos como nos testes anteriores, em sentido horizontal deitado em relação ao recipiente. O sensor resistivo foi novamente avaliado com objetivo de verificar se posicionado somente na superfície e não submerso, sua durabilidade poderia ser alterada e possivelmente ser aplicado de forma segura no projeto. Adotou-se o mesmo intervalo de impressão de leitura de 15 min por 2 dias. A figura 33 representa o processo de organização e leitura dos sensores neste teste.

Figura 30 - Teste 03



Fonte: Autor

Ao avaliar os dados de leitura foi possível observar e concluir neste momento que, o melhor posicionamento para os sensores é realmente na superfície, visando manter o processo de cura com o máximo de umidade. O sensor resistivo, mesmo exposto apresentou baixa resistência de funcionamento, também apresentando falhas de leitura no segundo dia, consequentemente sendo descartado seu uso para o teste final da maquete. Os valores de leitura demonstraram, de forma coerente, o momento em que o concreto começa a alterar a umidade da sua superfície, possibilitando realizar a irrigação antes que o processo de cura seja comprometido por ausência de água.

TESTE FINAL: MAQUETE

O presente teste utilizou a maquete da laje descrita anteriormente, utilizando o mesmo traço escolhido para os demais testes e sendo utilizado apenas o sensor capacitivo, visto a baixa resistência do sensor resistivo. A figura 34 ilustra o despejo de concreto na maquete.

Figura 31 - Despejo de concreto na maquete final



Fonte: Autor

Utilizou-se o mesmo intervalo de impressão das leituras (15 minutos) com observação de 7 dias de funcionamento, com clima apresentando sol pela manhã e chuva ao final do dia. Foram utilizados 5 sensores sobre a superfície do concreto, sendo posicionados nas extremidades da maquete e um no centro. O circuito eletrônico de cada sensor foi coberto por isolante líquido com objetivo de não danificar o circuito durante o processo de irrigação. A figura 35 demonstra o posicionamento dos sensores.

Figura 32 - Posicionamento dos sensores



Fonte: Autor

O sistema de irrigação foi montado considerando toda área de alcance dos aspersores, dispendo de 3 unidades interligadas em linha reta na região central da maquete. A irrigação foi devidamente acionada todas as vezes que um sensor identificou redução de umidade, independente da região em que ele se encontrava. A figura 36 ilustra a esquemática dos aspersores.

Figura 33 - Esquemática dos aspersores



Fonte: Autor

Ao longo do processo de monitoramento algumas observações importantes puderam ser realizadas. Primeiramente, o isolamento dos sensores se faz extremamente necessário, pois com o tempo houve a formação de zinabre nos componentes eletrônicos dos sensores 3 e 4, o que gerou grandes oscilações na leitura dos sensores entre o primeiro e o segundo dia. No momento da identificação do problema, o sistema de irrigação foi manualmente desligado e os sensores substituídos. Houve monitoramento de forma visual e através das leituras dos sensores 1, 2 e 5 da umidade superficial da laje. Mesmo visualmente não sendo possível identificar a necessidade de irrigação, visto que a maquete estava aparentemente úmida, os sensores indicavam as leituras analógicas dos sensores se aproximando do valor de 350, indicando a transição entre o estado úmido e o seco. Para que não houvesse comprometimento da qualidade da cura, o sistema foi manualmente irrigado até a redução do valor analógico que indicou que a superfície estava devidamente molhada. Este fato corrobora com o grande valor que se agrega ao monitoramento do processo, reforçando que, monitorar de forma visual e irrigar de forma manual gera uma variável de sensibilidade humana, onde, o que parece estar molhado para uns pode parecer seco para outros. Esta variável humana pode tornar o processo de cura irregular, comprometendo a qualidade final do concreto. O procedimento de acompanhamento das leituras e irrigação manual foi realizado durante o processo de substituição, incluindo o tempo de preparo do sensor com o isolante, secagem e reposicionamento dos mesmos. Os valores de leitura não foram descartados, pois foram de suma importância para demonstrar que uma falha de sensor

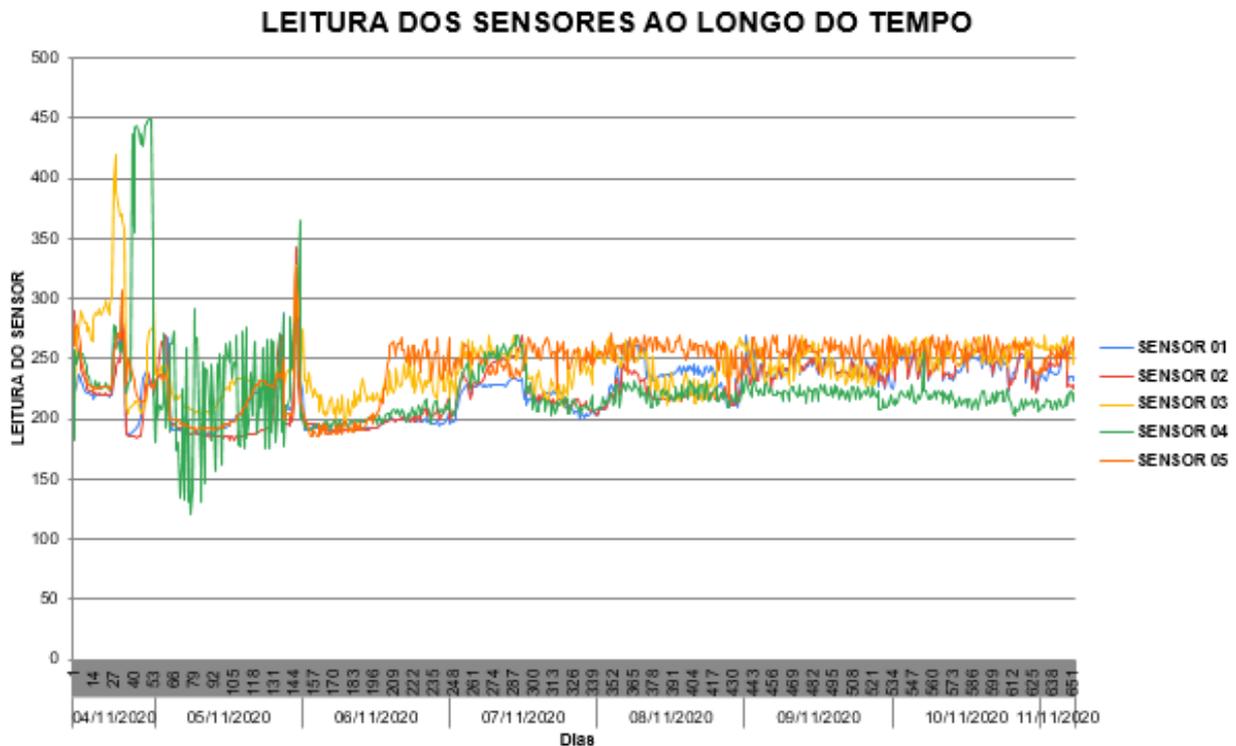
pode ser facilmente detectada pela leitura dos valores impressos na tela. Além disso, estes serviram de auxílio para identificação do melhor momento para irrigação manual da laje. A figura 37 ilustra o zinabre encontrado no sensor, enquanto o gráfico 3 demonstra os picos oscilatórios gerados por dois fatores: o momento de formação do gel de cimento, quando ocorre a reação exotérmica, durante aproximadamente as primeiras 12 horas (até a leitura de número 48) e a falha dos sensores 3 e 4.

Figura 34 - Zinabre presente na eletrônica do sensor



Fonte: Autor

Gráfico 3 – Valor da leitura x quantidade de leituras realizadas



Fonte: Autor

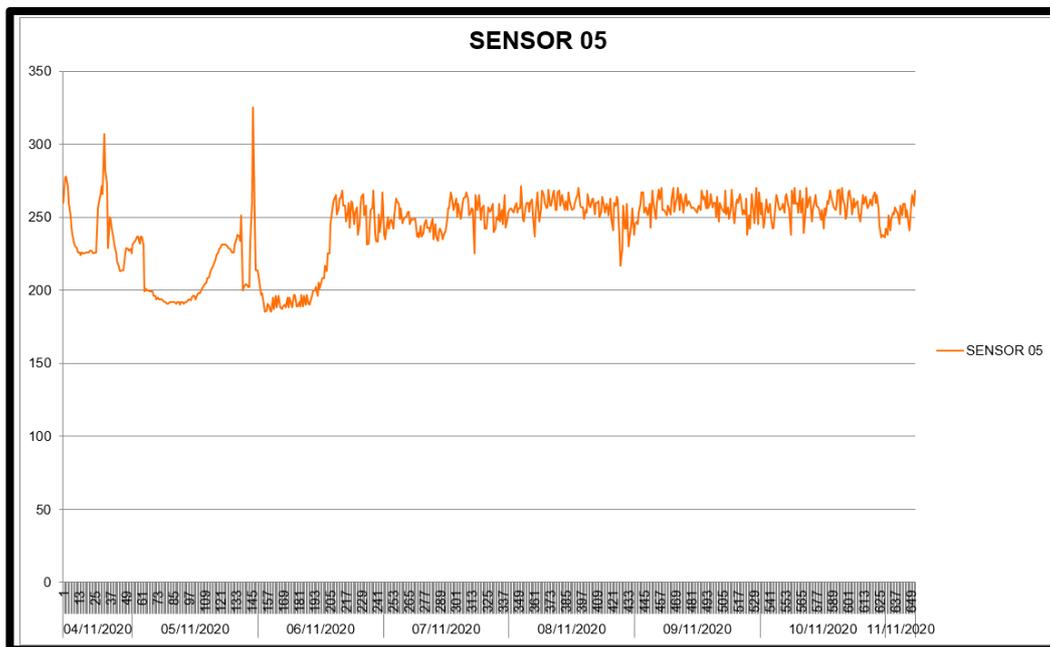
O sensor 5 apresentou descolamento da fita de leitura após o 7º dia de monitoramento, porém não se observou comprometimento dos valores analógicos impressos. Tais fatos podem ser observados na figura 38 e no gráfico 4.

Figura 35 - Descolamento da fita de leitura



Fonte: Autor

Gráfico 4 - Leituras do sensor 5

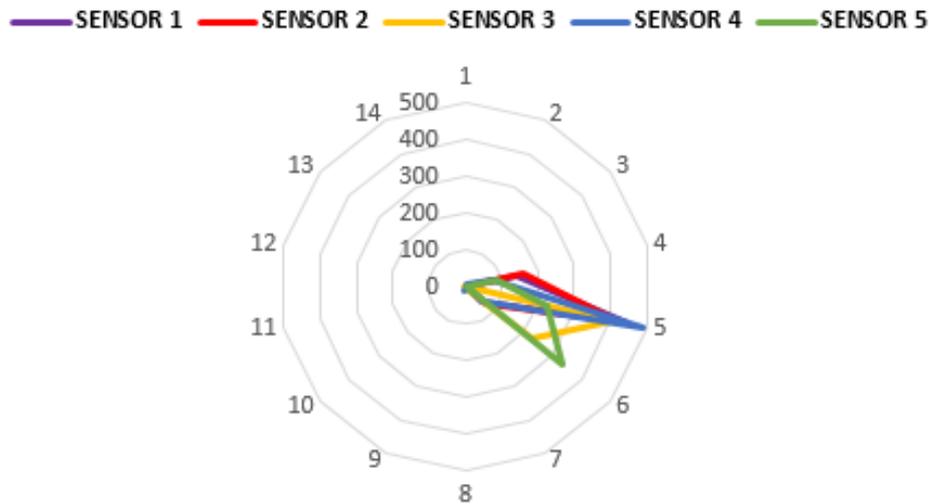


Fonte: Autor

O fato dos sensores estarem posicionados em locais diferentes uns dos outros pode demonstrar, através das leituras, que a superfície do concreto perde umidade de forma desigual, variando de acordo com sua exposição ao sol, por exemplo. O que reforçou ainda mais a coerência e credibilidade do sistema de leitura, como pode ser observado no gráfico 5, onde a região do sensor 5 demonstrou uma maior perda de umidade.

Gráfico 5 - Leitura analógica dos sensores capacitivos

MAPEAMENTO LEITURA SENSORES



Fonte: Autor

CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema automático para o controle da cura úmida do concreto, visando o baixo custo financeiro de prototipagem. Além disso, foram definidos procedimentos de ensaio e metodologia de testes que corroboraram para validar os resultados e o sistema desenvolvido.

Devido a pandemia do COVID – 19, realizou-se com sucesso o desenvolvimento de um estudo de caso através de uma maquete que contemplou aspectos em escala de uma situação real. Assim, concebeu-se um protótipo que apesar das limitações validou a concepção do sistema, bem como evidenciou diversos problemas e oportunidades de melhorias na ideia original, as quais serão descritas neste capítulo como propostas de trabalhos futuros.

O sensor resistivo apresentou problemas de corrosão e conseqüentemente problemas de leitura após 2 dias em contato com o concreto, reforçando a premissa descrita neste trabalho que por causa do seu princípio de funcionamento, os problemas de corrosão no solo descritos na literatura poderiam ser acelerados dado a composição do concreto. Entretanto, o sensor capacitivo apresentou bom desempenho desde que seja cuidadosamente manuseado e posicionado na superfície do concreto, chancelando a premissa previamente mapeada devido ao seu princípio de funcionamento.

O *hardware* desenvolvido demonstrou ser robusto, uma vez que operou durante sete dias sem interrupção, bem como sua operação ocorreu conforme esperado, ou seja, acionando a bomba d'água sempre que os sensores identificavam baixa umidade e desligando imediatamente após obter a umidade necessária na superfície para prover uma cura de alta qualidade ao concreto. Assim, ao final do período de testes, a maquete não apresentou fissuras, trincas e rachaduras.

É importante ressaltar que o desenvolvimento completo de um sistema de controle utilizando recursos de baixo custo não é um trabalho trivial, principalmente para um graduando em engenharia civil. O processo de definição, desenvolvimento, construção e testes de cada subsistema é demorado e exaustivo, mas extremamente compensador

quando finalizado com êxito. As dificuldades enfrentadas para validação do conceito proposto foram muitas como, por exemplo:

- A entrega de equipamentos e componentes dado as dificuldades frente à pandemia;
- Locais de fácil acesso durante a pandemia para desenvolvimento de um estudo numa obra real;
- Recursos financeiros;
- Problemas de instrumentação eletrônica.

Entretanto, a maquete demonstrou ser uma solução totalmente viável para validar, mesmo que em escala, o conceito e a ideia proposta.

Outro aspecto de suma importância foi o monitoramento dos recursos financeiros utilizados neste projeto, uma vez que um dos objetivos específicos foi a prototipação de um sistema de baixo custo. O montante financeiro utilizado para a prototipação do sistema de controle autônomo para cura úmida do concreto foi inferior ao valor de R\$ 500,00. O quadro 4 resume os custos do projeto.

Quadro 1 - Quadro de custos

COMPONENTE	VALOR UNITÁRIO	QUANTIDADE	TOTAL
Arduino Mega 2560	R\$ 88,00	1	R\$ 88,00
Sensor Resistivo	R\$ 15,00	5	R\$ 75,00
Sensor Capacitivo	R\$ 23,00	5	R\$ 115,00
Bomba	R\$ 80,00	1	R\$ 80,00
Módulo Relé	R\$ 15,00	1	R\$ 15,00
Fontes de Alimentação	R\$ 50,00	2	R\$ 100,00
Aspersores	R\$ 7,00	3	R\$ 21,00
TOTAL:			R\$ 494,00

Fonte: Autor

Finalmente, espera-se que este trabalho, por ter alcançado sucesso na maioria dos objetivos a que se propôs, venha a contribuir para o desenvolvimento de processos de controle e qualidade da cura úmida do concreto.

PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

As seguintes oportunidades de trabalhos futuros podem ser destacadas a partir deste trabalho:

- Percebeu-se que apesar de alguns sensores informarem que não havia necessidade de irrigação do concreto, bastava um único sensor em um local específico apontar a necessidade de água para que toda laje fosse irrigada. Assim, sugere-se adaptar o conceito do sistema para ao invés de distribuir igualmente água para todos os aspersores, fazer com que ele possa somente irrigar os locais que de fato necessitem de umidade, utilizando várias válvulas de controle ao invés de uma única;
- Realizar a cura úmida através do sistema desenvolvido em corpos de prova e rompê-los em laboratório, objetivando verificar de fato o aumento da resistência do concreto;
- Adaptar o sistema para uma obra real e realizar um novo estudo de caso, objetivando verificar eventuais problemas que a maquete não tenha demonstrado;
- Desenvolver um software interativo para monitoramento à distância, visando comodidade e flexibilidade de acesso aos dados de leitura;
- Ampliar a lógica de programação, incorporando um banco de dados, de onde possa ser gerado um relatório geral da cura do concreto, possibilitando ser arquivado junto

aos demais documentos da obra, estando assim, disponível para consulta sempre que for necessário;

- Possibilitar a comunicação entre os sensores e o microcontrolador de forma remota, reduzindo a quantidade de fios passando pela obra, o custo e o risco de alguém esbarrar em um fio e deslocar os sensores.

REFERÊNCIAS

ABIKO, A. K.; GONÇALVES, O. M.. O futuro da construção civil no Brasil. Resultados de um estudo de prospecção tecnológica da cadeia produtiva da construção habitacional. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo- 2003. Disponível em: <www.pcc.usp.br/files/text/personal.../Estudo%20setorial%20construcao%20civil5.pdf> Acessado em: 21/06/2020.

ACATECH. National Academy of Science and Engineering. Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0. Working Group, Germanz, 2013.

ACI-308R/2001. Disponível em: <http://dl.mycivil.ir/dozanani/ACI/ACI%20308R-01%20R08%20Guide%20to%20Curing%20Concrete_MyCivil.ir.pdf> Acessado em: 12/07/2020.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). Committee 614: Recommended practice for measuring, mixing and placing concrete. EUA, 1959.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM International. F2170: Standard Test Method for Determining Relative Humidity in Concrete Floor Slabs Using in situ Probes. EUA: American Society For Testing And Materials.

ANDRADE, J. J. O.; TUTIKIAN, B. F. Concreto: ciência e tecnologia – resistência mecânica do concreto. São Paulo: IBRACON, 2011.

ANJOS, M. A. S. Avaliação da hidratação de pastas cimentícias com elevados teores de adições minerais. Braga: Revista Engenharia Civil Um, 2012.

ARAÚJO, L.; RODRIGUES, R.; FREITAS, F. Concreto de Cimento Portland. São Paulo: [s.n.], 2010

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM (ABESC). Manual do concreto dosado em central. São Paulo: Luxmídi, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). Boletim técnico – Guia básico de utilização do cimento Portland. São Paulo, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/pesquisas>>

_____.NBR 11768-1/11768-2/ 11768-3: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

_____.NBR 12655: Concreto de cimento Portland: preparo, controle e recebimento - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

_____.NBR 14931: Execução de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____.NBR 15575: Norma de Desempenho – Edificações Habitacionais. Rio de Janeiro, 2013.

_____.NBR 15900-1: Água para amassamento do concreto Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.

_____.NBR 5738: Concreto: procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____.NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2003.

_____.NBR 7211: Agregados para concreto – Especificações. Rio de Janeiro, 2009.

BARBOSA, A.O.G. Controle de Robô Usando Técnicas Inteligentes, UERJ, 2008.

BAUER, L. A. F. Materiais da construção. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

BRITISH STANDARD. Disponível em: <http://allbeton.ru/upload/iblock/e65/bs_en_1008_2002_mixing_water_for_concrete_specification_for_sampling_testing_and_assessing_the_suitability_of_water_including_water_recovered_from_processes_in_the_concrete.pdf> Acessado em: 18/06/2020.

CBCI. Câmara Brasileira da Construção Civil. Catálogo da Construção Civil. Brasília: CBIC, 2016

CNI. Confederação Nacional da Indústria. Disponível em: <<https://www.portaldaindustria.com.br>> Acessado em: 08/06/2020.

COELHO, Pedro Miguel Nogueira. Rumo a Indústria 4.0. Coimbra 2016. Disponível em: <www.estudogeral.sib.u.pt/bitstream/10316/36992/1/tese%20pedro%20coelho%20%3%a0%20industria%204.pdf>

EVANS, M.; NOBLE, J.; HOCHENBAUM, J. Arduíno em Ação. São Paulo: Novatec, 2013.

FERNÁNDEZ, L. L. Propuesta de indicadores de lá eficácia del curado em obra. Concreto y Cemento. Investigación e Desarrollo, v.1, n. 2. México, 2010.

FIRJAN. Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro Indústria 4.0. Disponível em: <<http://www.firjan.com.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=2C908A8A555B47FF01557D8802C639A4>> Acessado em: 13/07/2020.

GIONGO, J. S. Concreto armado: introdução e propriedades dos materiais. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/Introd_Prop_Materiais.pdf> Acessado em: 29/07/2020.

HACHOUCHE, S.A. Apostila Arduíno básico v 1.0. Eletrogate. [2005?]. Disponível em <http://apostilas.eletrogate.com/Apostila_Arduíno_Basico-V1.0- Eletrogate.pdf> Acessado em: 02/07/2020.

HOPPE FILHO, J. Sistemas cimento, cinza volante e cal hidratada: mecanismo de hidratação, microestrutura e carbonatação do concreto. 2008. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia da Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

DINIZ, HUGO A. A.; JUNIOR, ITALO V. M.; OLIVEIRA, SAMUEL S.; SOUZA, KALINA J. M. Influência da cura por imersão em concretos convencionais. Revista Tecnologia e Informação. Disponível em: <<https://repositorio.unp.br/index.php/tecinfo/article/download/1289/868/>> Acessado em: 09/09/2020.

IBGE. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/27007-pib-cresce-1-1-e-fecha-2019-em-r-7-3-trilhoes>> Acessado em: 04/06/2020.

LAGUNA, L.A; HIKEMATSU, PAULA. A influência da temperatura na desforma do concreto, Revista Techne Edição 150, setembro de 2009

MARX, K. O capital: crítica da economia política. São Paulo: Difel, 1994.

McROBERTS, M. Arduíno Básico. São Paulo: Novatec, 2011. Disponível em <<http://alfasol.centroruthcardoso.org.br/wpcontent/uploads/sites/2/2014/10/capitulo9788575222744.pdf>> Acessado em: 14/07/2020.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto. Microestrutura, propriedades e materiais. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MONTEIRO FILHA, DULCE C.; COSTA, ANA C. R.; ROCHA, ÉRICO R. P. Perspectiva e desafios para inovar na construção civil. BNDES Setorial. Rio de Janeiro, 2010

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. 2. ed. São Paulo: PINI, 1997.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. Tecnologia do concreto. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

PACHECO, J.; HELENE, P. Boletim técnico – controle da resistência do concreto. Mérida, México: ALCONPAT, 2013.

PATSKO, L.F. Tutorial Aplicações, Funcionamento e Utilização de Sensores. Maxwell Bohr Instrumentação Eletrônica, PdP, 2006. Disponível em: <http://www.maxwellbohr.com.br/downloads/robotica/mec1000_kdr5000/tutorial_eletronica_-_aplicacoes_e_funcionamento_de_sensores.pdf> Acessado em: 18/06/2020.

PEDROSO, F. L. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. Revista Concreto e Construção: IBRACON, 2009.

PETRUCCI, E. G. R. Concreto de cimento Portland. 13. ed. São Paulo: Globo, 1998.

PORTUGAL, M. A. Como Gerenciar Projetos de Construção Civil. Brasport, 2016

POWERS, T.C; BROWNYARD, T.L. Studies on the physical properties of hardened Portland cement paste. Chicago: P C A, 1948. (Boletim 22)

SILVA, B. A. Análise da influência do tipo de cura na resistência à compressão de corpos-de-prova de concreto. 2009. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, ITA (Instituto Tecnológico da Aeronáutica), São Paulo, 2009.

VILEFORT, Leandro S. et al. Amplificador de potência classe d alimentado com fonte de tensão cc simples ou simétrica. VII CEEL, Uberlândia – Minas Gerais, 29 out. 2010. VIII Conferência de Estados Engenharia Elétrica, p. 1-6. Disponível em: <<https://www.peteletricaufu.com/static/ceel/doc/artigos/artigos2010/ceel201058.pdf>> Acesso em: 13/08/2020.

WENDLING, M. Sensores. Guaratinguetá: UNESP, 2010. Apostila.