

Título em Português:	Conexão entre o mundo analógico e o digital na disciplina de Laboratório de Eletromagnetismo I para Licenciatura
Título em Inglês:	connection between the analog and digital world in the discipline of electromagnetism laboratory i for teaching degree
Autor:	Bruno Rossi Carmo
Instituição:	Universidade de São Paulo
Unidade:	Instituto de Física de São Carlos
Orientador:	Reynaldo Daniel Pinto
Área de Pesquisa / SubÁrea:	Ensino-Aprendizagem
Agência Financiadora:	USP - Programa Unificado de Bolsas

CONEXÃO ENTRE O MUNDO ANALÓGICO E O DIGITAL NA DISCIPLINA DE LABORATÓRIO DE ELETROMAGNETISMO I PARA LICENCIATURA

Bruno Rossi Carmo

Reynaldo Daniel Pinto

Instituto de Física de São Carlos/Universidade de São Paulo

brunorossicarmo@usp.br

Objetivos

O objetivo deste projeto concentrou-se na implementação de experimentos didáticos, bem como elaboração do material de apoio, visando apresentar o conceitual envolvido em processamento de sinais digitais e analógicos para alunos da licenciatura, promovendo experimentos simples que podem ser replicados para ensinar os mesmos conceitos no nível fundamental e médio.

Métodos e Procedimentos

Inicialmente, foi confeccionado um procedimento experimental generalizado objetivando apresentação esquemática e, também, prática de conversores analógico-digitais (ADC) e conversores digitais-analógicos (DAC). Para isso, 4 placas foram utilizadas para construção de circuitos com os respectivos módulos: contador, conversor DAC R-2R, comparador e temporizador. O procedimento experimental programado em aulas consiste em introduzir uma entrada de tensão V_i sobre o módulo contador para realizar a contagem efetiva da tensão em código binário, representando os *bits* de valor “1” como LED aceso e os *bits* de valor “0” como LED desligado. O procedimento seguinte consiste em acoplar o módulo contador com o

circuito R-2R, buscando assim transformar o sinal digital de entrada V_i em sinal analógico.

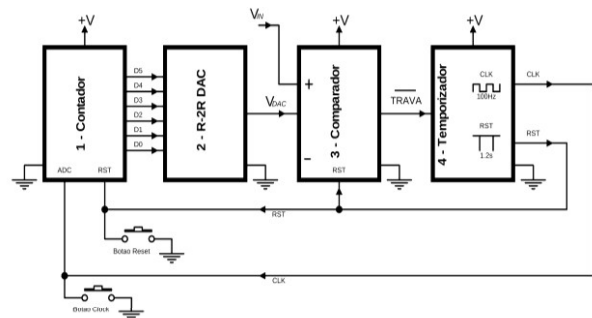


Figura 1: Apresentação esquemática das placas.
Fonte: elaborado pelo autor.

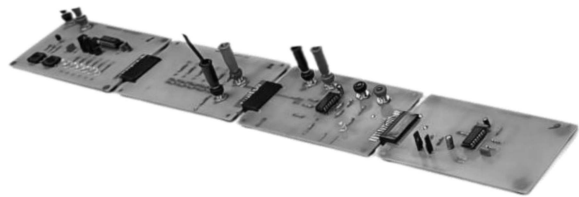


Figura 2: Placas efetivamente construídas. Fonte: fotografia tirada pelo autor.

O circuito R-2R utiliza cadeias de resistores de valor R e, também, de valor $2R$ — tanto em associação paralela quanto em associação em série — para dividir a tensão V_i de acordo com a proporção de distribuição de resistores,

resultando em uma saída analógica de tensão V_{out} [1]. Deste modo, cada um dos conjuntos de LEDs acesos e desligados representam um número digital que, em valor analógico, equivalem a saída V_{out} .

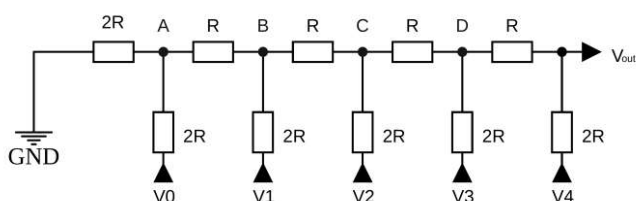


Figura 3: Diagrama do circuito R-2R utilizando 5 bits com divisão de tensão, onde os termos V_i representam os bits b_i . Fonte: elaborado pelo autor.

Por último, o experimento exige a inserção dos módulos comparador e temporizador nas placas, objetivando a construção de um conversor ADC via método de comparações sucessivas [2]. Com isso, todo o experimento aqui descrito foi confeccionado, elaborado e construído com apoio do corpo técnico responsável pelo laboratório de elétrica e eletrônica, sendo adotadas reuniões quinzenais entre corpo técnico, docente e discente responsável do projeto com objetivo de construir, testar e efetivar a implementação dos experimentos em sala de aula.

Resultados

Em geral, todos os experimentos foram efetivamente implementados em sala de aula, bem como foram construídas apostilas de auxílio na execução de cada uma das práticas. Durante a implementação, as práticas tiveram que ser divididas em três partes com intervalo quinzenal de execução para cada uma. A primeira parte consistiu na execução e exploração do circuito R-2R em modelo simplificado. A segunda parte consistiu na implementação dos módulos contadores e R-2R na formação do conversor DAC e, por fim, a última parte consistiu na execução dos procedimentos referentes ao comparador e

temporizador, implementando efetivamente o conversor ADC. Todos os discentes matriculados na disciplina foram capazes de acompanhar e realizar os experimentos supracitados ao longo deste trabalho.



Figura 4: Algumas das execuções experimentais em aula. Fonte: Fotografias tiradas pelo autor.

Conclusões

Conclui-se que, de modo geral, todas as práticas propostas foram implementadas com sucesso, bem como confecção do material de apoio necessário para execução das atividades. Abordando essas práticas, torna-se possível que futuros professores possam explicar eletrônica e processamento de sinais de forma acessível para alunos do ensino médio, fortalecendo a formação didática e pedagógica dos licenciandos. O autor declara não haver conflito de interesses.

Referências

- [1] SANTOS, W. M. F. **R2R: Um Conversor Digital Analógico Simples**, 2023. Disponível em: <://blog.ryndackcomponentes.com.br/r2r-um-conversor-digital-analogico-simples/>. Acesso em: 10 ago. 2025.
- [2] RODRIGUES, D. Q. **ADC- Conversor Analógico-Digital-Parte 2: Por aproximações sucessivas**, 2021. Disponível em: <http://dqsoft.blogspot.com/2021/09/adc-conversor-analogico-digital-parte-2.html>. Acesso em: 10 ago. 2025.

CONNECTION BETWEEN THE ANALOG AND DIGITAL WORLDS IN THE ELECTROMAGNETISM I LABORATORY COURSE FOR TEACHING DEGREE

Bruno Rossi Carmo

Reynaldo Daniel Pinto

São Carlos Institute of Physics/University of São Paulo

brunorossicarmo@usp.br

Objectives

The objective of this project was focused on the implementation of didactic experiments, as well as the development of support materials, aiming to present the concepts involved in digital and analog signal processing to teacher education students, promoting simple experiments that can be replicated to teach the same concepts at the elementary and high school levels.

Methodes and Procedures

Initially, a generalized experimental procedure was designed with the objective of providing both a schematic and practical presentation of analog-to-digital converters (ADC) and digital-to-analog converters (DAC). For this purpose, four boards were used to build circuits with the following modules: counter, R-2R DAC converter, comparator and timer. The experimental procedure planned for the classes consists of introducing an input voltage V_i into the counter module to perform the effective measurement of the voltage in binary code, representing the bits with value “1” as a lit LED and the bits with value “0” as an unlit LED. The next step of the procedure consists of coupling the counter module with the R-2R circuit,

thereby converting the digital input signal into an analog signal.

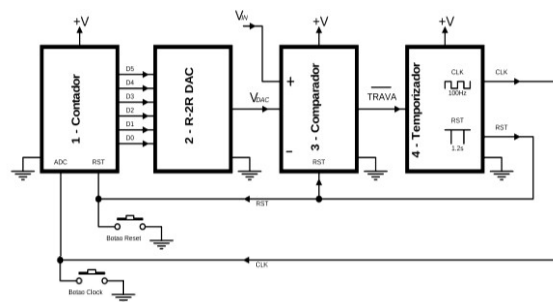


Figure 1: Schematic presentation of the boards.
Source: prepared by the author.

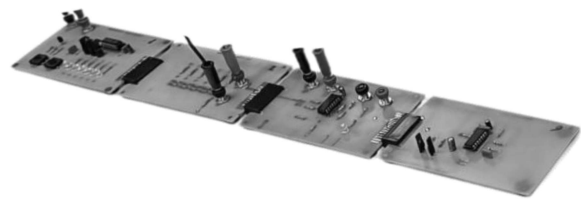


Figure 2: Boards actually built. Source: photograph taken by the author.

The R-2R circuit uses chains of resistors with values of R and $2R$ — both in parallel and series arrangements — to divide the input voltage V_i according to the resistor distribution ratio, resulting in an analog output voltage V_{out} [1]. In this way, each set of lit and unlit LEDs

represents a digital number which, in analog value, corresponds to the output V_{out} .

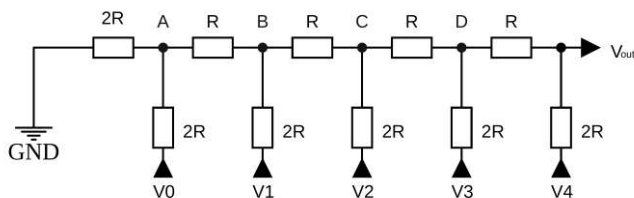


Figure 3: Diagram of the R-2R circuit using 5 bits with voltage division, where the terms V_i represent the bits b_i . Source: prepared by the author.

Finally, the experiment requires the insertion of the comparator and timer modules into the boards, aiming at the construction of an ADC converter using the successive approximation method [2]. Thus, the entire experiment described here was designed, developed, and built with the support of the technical staff responsible for the electrical and electronics laboratory. Biweekly meetings were held between the technical staff, the professor, and the student responsible for the project in order to build, test, and implement the experiments in the classroom.

Results

In general, all the experiments were effectively implemented in the classroom, and support booklets were also prepared to assist in carrying out each practice. During implementation, the practices had to be divided into three parts, with a biweekly interval for each. The first part consisted of performing and exploring the R-2R circuit in a simplified model. The second part involved the implementation of the counter and R-2R modules in the construction of the DAC converter. Finally, the last part consisted of carrying out the procedures related to the comparator and timer, effectively implementing the ADC converter. All students enrolled in the course were able to follow and perform the aforementioned experiments throughout this work.

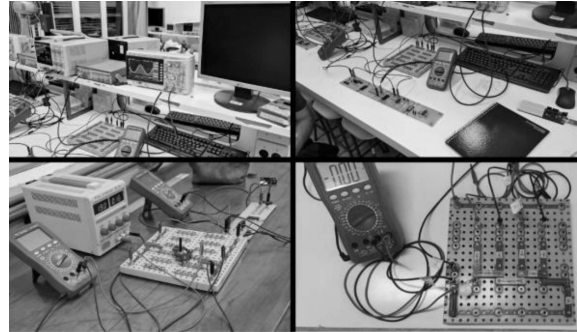


Figure 4: Some of the experimental implementations in class. Source: photographs taken by the author.

Conclusion

It is concluded that, in general, all the proposed practices were successfully implemented, as well as the preparation of the support material necessary for carrying out the activities. By addressing these practices, it becomes possible for future teachers to explain electronics and signal processing in an accessible way to high school students, thus strengthening the didactic and pedagogical training of the teacher education undergraduates.

The author declares no conflict of interest.

References

- [1] SANTOS, W. M. F. **R2R: Um Conversor Digital Analógico Simples**, 2023. Disponível em: <://blog.ryndackcomponentes.com.br/r2r-um-conversor-digital-analogico-simples/>. Acesso em: 10 ago. 2025.
- [2] RODRIGUES, D. Q. **ADC- Conversor Analógico-Digital-Parte 2: Por aproximações sucessivas**, 2021. Disponível em: <http://dqsoft.blogspot.com/2021/09/adc-conversor-analogico-digital-parte-2.html>. Acesso em: 10 ago. 2025.