



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CAMPUS NATAL  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
ENGENHARIA MECATRÔNICA  
SISTEMAS DIGITAIS

ALLYSSON DE ANDRADE SILVA  
ALYSSON FERREIRA DA SILVA  
GABRIEL CAVALHEIRO FRANCISCO  
MARCELO FERREIRA MOTA JÚNIOR  
WESLEY BRITO DA SILVA

MINI RÁDIO DEFINIDO POR SOFTWARE

NATAL

2021



## MINI RÁDIO DEFINIDO POR SOFTWARE

ALLYSSON DE ANDRADE SILVA  
ALLYSSON FERREIRA DA SILVA  
GABRIEL CAVALHEIRO FRANCISCO  
MARCELO FERREIRA MOTA JÚNIOR  
WESLEY BRITO DA SILVA

Relatório do grupo 3, visando construir uma lógica para a criação futura de um mini rádio definido por *software*, como também, por circuito esquemático. Tal documento é referente a nona semana do projeto 5 da disciplina Sistema Digitais.

Docente: Samaherni Moraes Dias

NATAL

2021

## RESUMO

O presente relatório tem por objetivo elaborar as definições de projeto para um mini Software Defined Radio na disciplina de Sistemas Digitais. Tal dispositivo é capaz de modular 4 técnicas como AM, FM, ASK e a FSK. A partir do tipo de modulação selecionada pelo usuário, um display LCD será implementado para fazer a interface homem-máquina. Além disso, para estabelecer o processo de modulação de um determinado sinal, deverá ser configurado o modo de modulação e a frequência da portadora através de um potenciômetro. No que tange o sistema de comunicação, será utilizado um R2R no intuito de realizar o tratamento da conversão dos sinais digitais de entrada para uma saída analógica. Com isso, espera-se que a solução sugerida seja plausível e exequível assim como foi fundamentada no estado da técnica.

**Palavras-Chave:** Modulação de frequência, AM, FM, ASK, FSK, R2R.

## Lista de Figuras

1	Circuito Sample and Hold . . . . .	8
2	Análise de circuito de uma rede R-2R de 4 bits . . . . .	9
3	Caracteres gravados no HD447780U. . . . .	11
4	Pinos do display 16x2. . . . .	12
5	Modulação por Amplitude . . . . .	13
6	Modulação por Frequência . . . . .	14
7	Modulação por Amplitude Shift Keying . . . . .	15
8	Modulação Frequency-shift keying . . . . .	16
9	Interface homem-máquina do mini SDR . . . . .	17
10	Elementos da interface homem-máquina do mini SDR . . . . .	17
11	Infográfico do ajuste do mini SDR para modulação do ASK com portadora em 325Hz . . . . .	18
12	Fluxograma . . . . .	19
13	Fluxograma - Processo RUN . . . . .	20
14	Fluxograma - Seleção de modulação . . . . .	21
15	Fluxograma - Seleção de portadora . . . . .	22

## Lista de Tabelas

1	Identificação da equipe . . . . .	26
---	-----------------------------------	----

## Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b>	<b>7</b>
2.1	Conversor AD . . . . .	7
2.2	Rede R2R . . . . .	9
2.3	Display de cristal líquido 16x2 . . . . .	10
2.4	Modulação . . . . .	12
2.4.1	Modulação AM . . . . .	12
2.4.2	Modulação FM . . . . .	14
2.4.3	Modulação ASK . . . . .	14
2.4.4	Modulação FSK . . . . .	15
<b>3</b>	<b>PROJETO</b>	<b>17</b>
3.1	Fluxograma de Projeto . . . . .	19
3.1.1	Processo Run . . . . .	20
3.1.2	Processo Modulação . . . . .	21
3.1.3	Processo Portadora . . . . .	22
3.2	Configuração do Display . . . . .	22
3.3	PINAGEM . . . . .	23
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>24</b>
	<b>ANEXO A - RELATO SEMANAL</b>	<b>26</b>
	<b>ANEXO B - FLUXOGRAMA</b>	<b>28</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A modulação é uma técnica de transmissão de sinais popular no setor produtivo. Este procedimento é versátil e possui diversas aplicações, dentre elas estão: redução de ruído por modulação multibanda, modulação PWM de inversores a três braços acionando máquinas de indução, modulação digital de sinal para posterior transporte de imagens, áudios e dados entre outras aplicações (SANTOS; COSTA, 2016) (GOBBI; KERBAUY, 2010) (VIEIRA et al., 2012)

Nesse sentido, a modulação de sinais pode ser por amplitude, o que caracteriza os sinais de rádio AM, por frequência, usado em sinais de rádio FM ou por fase (GOBBI; KERBAUY, 2010). As maneiras de modulação supracitadas são para casos analógicos e possuem seus similares em digitais como ASK (*Amplitude Shift Keying*), modulação feita na modificação do nível de amplitude da onda portadora em função do sinal digital de entrada a ser transmitido, e FSK (*Frequency Shift Keying*), que consiste em uma modulação de portadora única através da variação da frequência da onda portadora em função do sinal digital a ser transmitido (SILVA, 2019).

Complementar ao uso da modulação para sinais pode ser utilizado um microcontrolador para fazer uso desta ferramenta. Por exemplo, é possível desenvolver um inversor trifásico com controle de tensão PWM microcontrolado, onde as técnicas de controle podem ser implementadas com modulação por largura de pulso para minimizar o conteúdo harmônico nas correntes de carga (SALERNO; CAMACHO; OLIVEIRA FILHO, 2003).

Dito isso, este relatório versará sobre uma proposta de projeto para implementação de um mini rádio definido por software utilizando o microcontrolador (ou uC de unidade de controle) ATMEGA328p e seus periféricos capaz de realizar modulações do tipo AM, FM, ASK e FSK.

## 2 DESENVOLVIMENTO

Nos próximos tópicos serão descritos os conceitos teóricos em relação aos equipamentos e o modo de comunicação utilizados no sistema em questão.

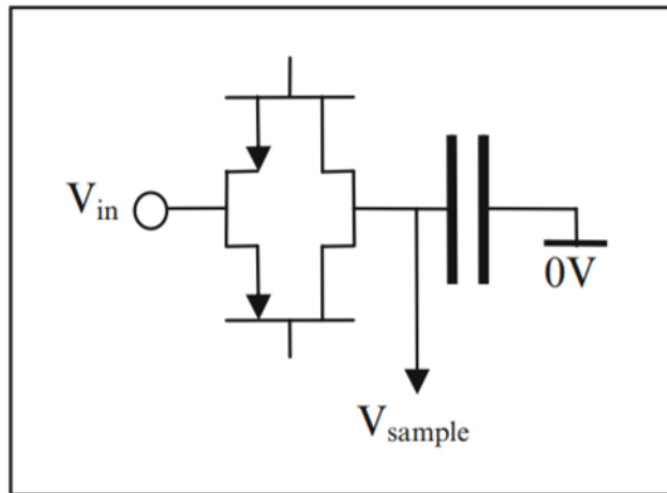
### 2.1 Conversor AD

Visto que o processador trabalha apenas com sinais digitais, vê-se a necessidade de conversão do sinal de entrada analógico para um sinal digital, para tanto existem diversas técnicas de conversão sendo as principais arquiteturas de conversão a  $\Delta\Sigma$ , a de aproximações sucessivas (SAR) e a pipeline (OHNHÄUSER, 2015).

Por conta do microprocessador ATMega328P possuir um periférico dedicado a conversão analógica-digital, iremos focar na conversão a partir do mesmo; O conversor analógico-digital presente no microcontrolador funciona a partir do princípio de *sam-*

*ple and hold*, que faz parte das técnicas de arquitetura do tipo SAR, nele a amostragem é efetuada basicamente por um capacitor que carrega com a tensão de entrada durante o momento de amostragem, e convencionalmente este valor é mantido a partir da desconexão da entrada por meio de uma chave, como ilustrado no circuito da Figura 1, e este valor é posteriormente quantizado; Este conversor também tem como características o fato de possuir uma resolução de 10 bits e é acessado a partir de 8 entradas multiplexadas.

Figura 1: Circuito Sample and Hold



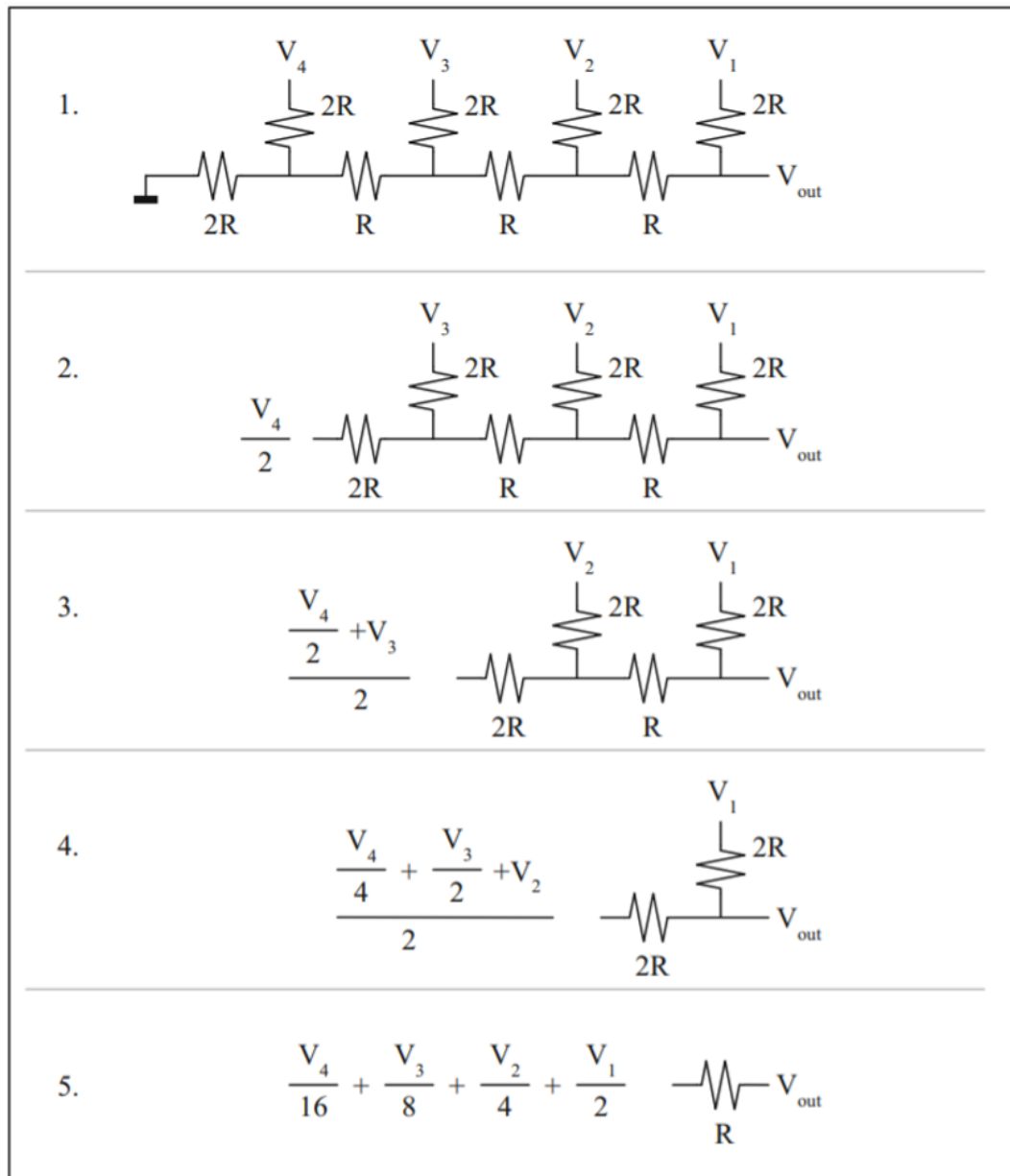
Fonte: Ohnhäuser (2015)



## 2.2 Rede R2R

A rede de escada R-2R é uma rede de resistores a qual é utilizada na conversão de sinais digitais para uma saída analógicos (DAC), esta se destaca entre as redes de resistores utilizados para a conversão DAC por possuir uma simples construção e maior exatidão por possuir apenas dois valores de resistência, isto faz com que seja mais simples a garantia da relação entre as resistências dos mesmos, visto que estes componentes possuem erros em relação aos valores apresentados pelos fabricantes, além disso possui um pequeno consumo de energia, ocupa uma pequena área e o código digital pode ser tirado diretamente da representação em binário (PELGROM, 2017).

Figura 2: Análise de circuito de uma rede R-2R de 4 bits



Fonte: Ohnhäuser (2015)

Na Figura 2 pode-se observar o formato do circuito de uma rede R-2R de 4 bits, assim como a análise do mesmo, onde temos  $V_4$  como o bit menos significativo e  $V_1$  como bit mais significativo; Ao fim da análise é possível constatar que nesta rede o bit mais significativo representa metade da tensão referente ao bit nas portas digitais e os bits subsequentes referem-se a frações do mesmo, com isso pode-se constatar que com a adição de novas entradas digitais na rede proporcionaria uma maior resolução da conversão, onde um conversor por rede R-2R de 4 bits poderia assumir valores em intervalos de  $\frac{V}{2^4}$  já um com 8 bits conseguiria representar o valor em intervalos de  $\frac{V}{2^8}$ .

### 2.3 Display de cristal líquido 16x2

Os *displays* LCD (*Liquid Crystal Display*) são muito utilizados para desenvolvimentos das aplicações com interface entre homem e máquina, sendo uma solução simples e barata. Neste trabalho, o controlador escolhido para o *display* é o HD44780U. Ele, além de controlador do *display* em formato de colunas e linhas (*display* de 16x2 caracteres), também é um *driver* LSI alfanumérico, de caracteres japoneses kana e símbolo. Na Figura 3 pode ser visto alguns caracteres que nele está gravado, onde cada carácter é constituído por uma matriz de 8 pixels na vertical e 5 na horizontal.

Figura 3: Caracteres gravados no HD447780U.

Upper 4 Bits Lower 4 Bits	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111
xxxx0000	CG RAM (1)			0	a	P	`	P				-	9	3	a	p
xxxx0001	(2)		!	1	A	Q	a	q			„	7	7	4	ä	q
xxxx0010	(3)		"	2	B	R	b	r			「	イ	ウ	×	ß	θ
xxxx0011	(4)		#	3	C	S	c	s			」	ウ	7	E	ε	ω
xxxx0100	(5)		\$	4	D	T	d	t			、	エ	ト	†	μ	Ω
xxxx0101	(6)		%	5	E	U	e	u			・	オ	ナ	1	ç	Ü
xxxx0110	(7)		&	6	F	V	f	v			ヲ	カ	ニ	ヨ	ρ	Σ
xxxx0111	(8)		'	7	G	W	g	w			フ	キ	ヌ	ヲ	q	π
xxxx1000	(1)		(	8	H	X	h	x			ィ	ウ	ネ	リ	ſ	Σ
xxxx1001	(2)		)	9	I	Y	i	y			ゝ	フ	ル	ル	“	Y
xxxx1010	(3)		*	:	J	Z	j	z			エ	コ	ン	レ	j	¢
xxxx1011	(4)		+	;	K	L	k	l			オ	ウ	ヒ	ロ	*	¥
xxxx1100	(5)		,	<	L	¥	1	l			ハ	シ	フ	ワ	¢	¥
xxxx1101	(6)		-	=	M	I	m	l			ユ	ズ	ハ	ン	¢	÷
xxxx1110	(7)		.	>	N	^	n	+			ヨ	セ	ホ	ハ	¢	
xxxx1111	(8)		/	?	O	_	o	+			ッ	ッ	マ	”	ö	■

Fonte: (HITACHI, 1998)

A comunicação padrão entre o microcontrolador e o controlador do LCD pode se dar de forma paralela (utilizando de 4 ou 8 bits) ou, por limitações de portas, I2C também pode ser utilizado. O *display* LCD 16x2 escolhido é compatível com o controlador citado e nesse *display* se tem 16 pinos controladores. Os pinos de D1 para D7 fazem parte do barramento de dados, sendo que esses 8 são usados para a configuração de 8 bits e para a configuração de 4 bits são utilizados apenas do D4 a D7. Ao se tratar do RS, quando receber 0, tudo que for enviado ao display será tratado como comando, e caso seja 1, os dados enviados para o display serão interpretados como caracteres. Já os outros pinos podem ser vistos na Figura 4.

Figura 4: Pinos do display 16x2.

Pinos	Função
1 (VSS)	Alimentação (GND)
2 (VDD)	Alimentação (5 Volts)
3 (VO)	Pino de ajuste de contraste
4 (RS)	Seleção de comandos ou dados
5 (R/W)	Leitura(1)/Escrita(0)
6 (E)	Enable
7 (DO)	Data bit 0
8 (D1)	Data bit 1
9 (D2)	Data bit 2
10 (D3)	Data bit 3
11 (D4)	Data bit 4
12 (D5)	Data bit 5
13 (D6)	Data bit 6
14 (D7)	Data bit 7
15 (A)	Anodo da iluminação do backlight (5 Volts)
16 (K)	Catodo da iluminação do backlight (GND)

Fonte: Autores.

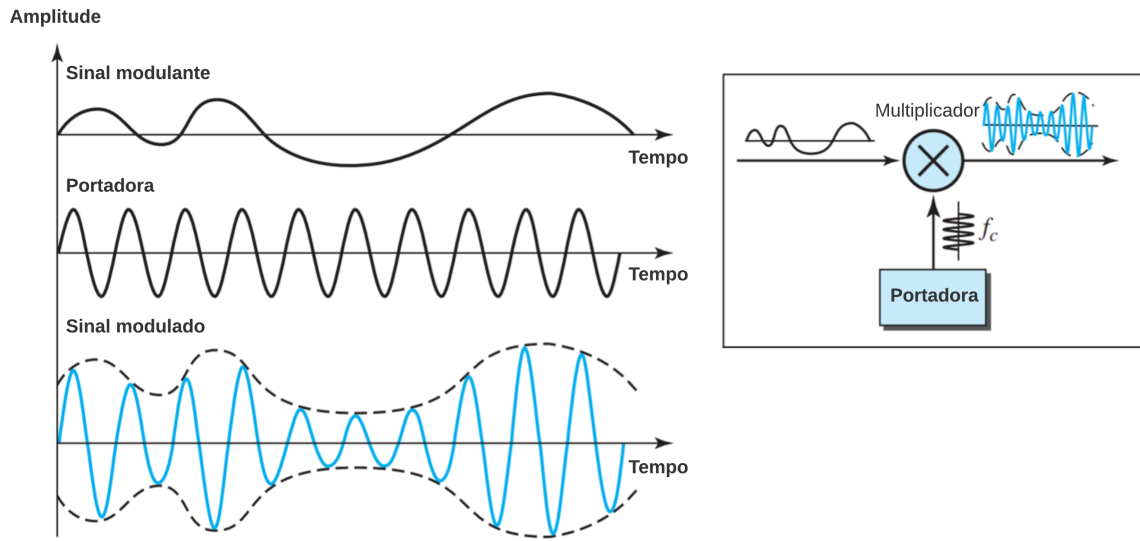
## 2.4 Modulação

Nos próximos tópicos serão vistos os conceitos, características e as fórmulas matemáticas em relação aos tipos de modulação AM, FM, ASK e FSK.

### 2.4.1 Modulação AM

Uma das formas mais simples de transmissão de sinal analógico é a transmissão por modulação de amplitude (AM), nela o sinal da portadora é modulado de forma que sua amplitude varia de acordo com as mudanças de amplitude do sinal modulante. A frequência e fase da portadora mantém-se as mesmas, sendo apenas a amplitude alterada para seguir as variações da informação (FOROUZAN, 2013), como pode ser observado na Figura 5.

Figura 5: Modulação por Amplitude



Fonte: Forouzan (2013) [Adaptado]

Existem diversas formas de modulação AM, aqui iremos focar na modulação em amplitude com a presença da portadora, sendo assim, o processo de modulação é efetuado em duas etapas: o sinal modulante é multiplicado pela portadora e posteriormente este produto é somado ao sinal da portadora, como apresentado na Equação 1, onde  $A_c \cos(2\pi f_c t)$  é o sinal da portadora e  $w(t)$  a amplitude do sinal modulante (JOHNSON; SETHARES, 2003).

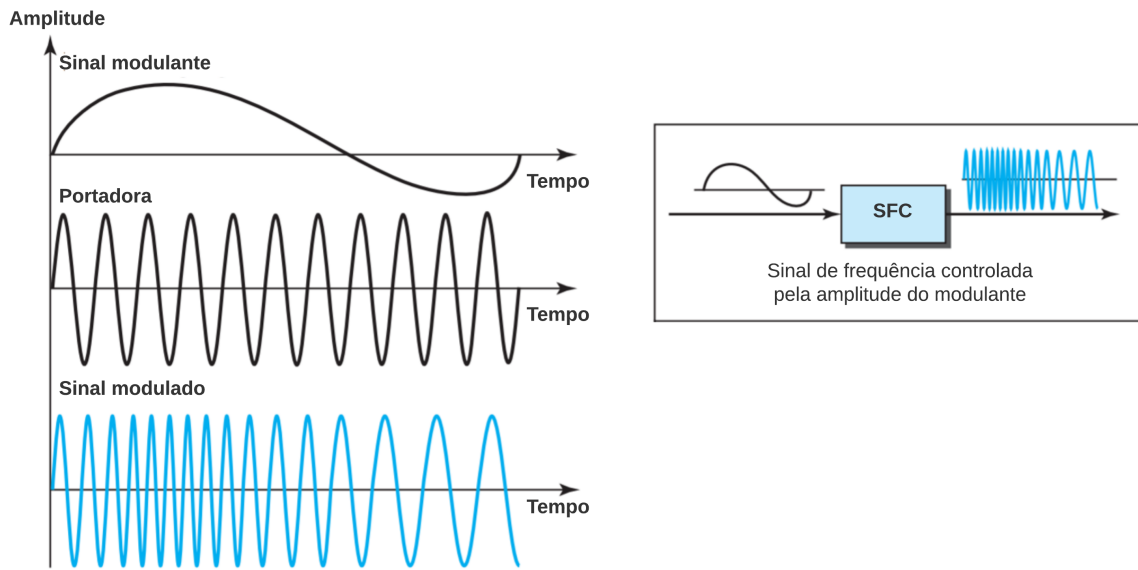
$$v(t) = A_c w(t) \cos(2\pi f_c t) + A_c \cos(2\pi f_c t) \quad (1)$$

Além do modelo de modulação por amplitude supracitado, também se tem a modulação em amplitude com supressão de portadora, o qual apenas efetua a multiplicação do sinal modulante com a portadora, o que pode ser observado no canto superior direito da Figura 5, este modo possui como principal característica o menor consumo de potência, porém pode apresentar uma maior dificuldade na demodulação, por conta que o receptor precisa conhecer a frequência da portadora utilizada.

### 2.4.2 Modulação FM

Para a *Frequency Modulation* (FM) a transmissão a frequência do sinal da portadora é modulada para seguir os padrões das mudanças no nível de tensão do sinal modulador, ou seja, a amplitude máxima e a fase do sinal da portadora permanecem sem alterações, porém a frequência da portadora muda a medida que a amplitude do sinal modulador é alterado (FOROUZAN, 2013), e isso pode ser visto na Figura 6.

Figura 6: Modulação por Frequência



Fonte: Forouzan (2013) [Adaptado]

Como é visto na equação 2 do sinal modulado  $v(t)$ , a amplitude da portadora ( $A_c$ ) é diretamente proporcional a amplitude do sinal modulador. Também se tem que  $f_c$  é a frequência da portadora e 'm' é o índice de modulação, onde esse consiste na razão da variação da frequência e a frequência da portadora.

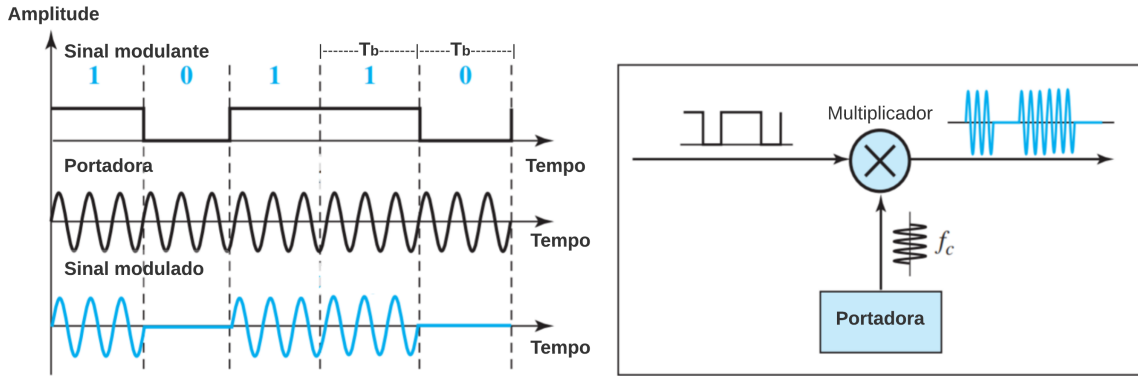
$$v(t) = A_c \cos[2\pi t(f_c + mS(t))] \quad (2)$$

### 2.4.3 Modulação ASK

Na modulação em amplitude por chaveamento ou Amplitude *Shift Keying* (ASK), a amplitude do sinal da portadora é variada para criar elementos de sinal. Isto é, a frequência e a fase permanecem constantes enquanto a amplitude muda. Normalmente, este tipo de modulação é implementada utilizando *keying on-off* (OOK), também chamado de chaveamento liga e desliga, onde se usa apenas dois níveis de elementos de sinal. Dessa forma, a amplitude de pico de um nível de sinal é 0 enquanto a outra é igual à amplitude da frequência portadora (JOHNSON; SETHARES, 2003).

A Figura 7 explicita o comportamento supracitado. Na imagem percebe-se que quando a amplitude do sinal modulante é 1, a amplitude da frequência da portadora é mantida, já quando a amplitude do sinal modulante é 0, a amplitude da frequência portadora é 0. Ou seja, é possível obter o sinal modulado através da multiplicação entre o sinal modulante e a portadora (JOHNSON; SETHARES, 2003).

Figura 7: Modulação por Amplitude Shift Keying



Fonte: Forouzan (2013) [Adaptado]

Nesse sentido, sabendo que a amplitude da portadora  $A_c$  pode ser definida pela Equação 3 e a energia  $E_b$  aproximadamente pela Equação 4, podemos assumir que uma onda binária de entrada  $b(t)$  pode ser definida pela Equação 5. Com isso, podemos caracterizar através da Equação 6 o resultado da multiplicação entre  $b(t)$  e a portadora (HAYKIN; MOHER, 2009).

$$A_c = \sqrt{\frac{2}{T_b}} \quad (3)$$

Fonte: (OLIVEIRA, 2015)

$$E_b \approx \frac{1}{T_b} \cdot \int_0^{T_b} |b(t)|^2 dt \quad (4)$$

$$b(t) = \begin{cases} \sqrt{E_b} & , \text{para o símbolo binário 1} \\ 0 & , \text{para o símbolo binário 0} \end{cases} \quad (5)$$

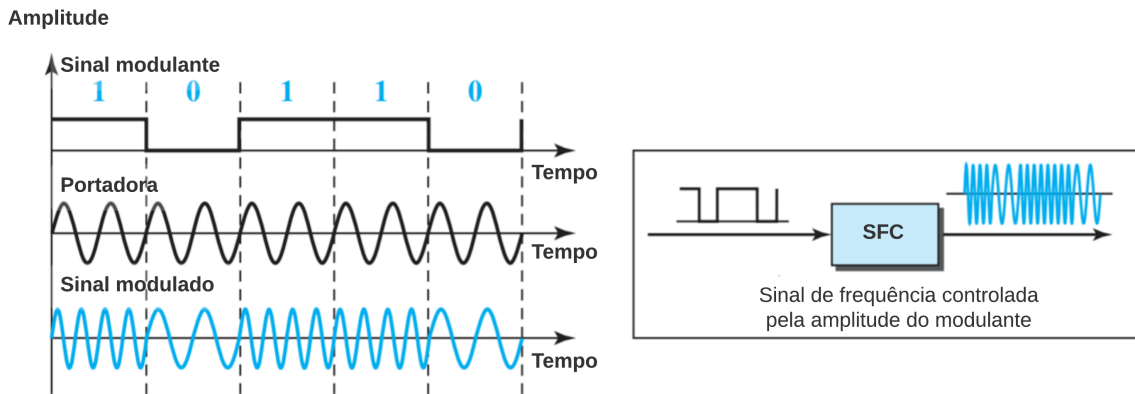
$$s(t) = \begin{cases} \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_c t) & , \text{para o símbolo binário 1} \\ 0 & , \text{para o símbolo binário 0} \end{cases} \quad (6)$$

#### 2.4.4 Modulação FSK

Na Modulação por chaveamento de frequência ou *Frequency-shift keying* (FSK) a frequência do sinal da portadora é variada para representar os dados. Ou seja, a frequência

do sinal modulado é constante para a duração de um elemento de sinal, mas muda para o próximo elemento de sinal se o elemento de dados mudar. Neste tipo de modulação a amplitude e a fase do pico permanecem constantes para todos os elementos de sinal. Dito isso, podemos pensar que a modulação FSK possui duas frequências portadoras. Assim, usamos a primeira portadora se o elemento de dados for 1 e usamos a segunda se o elemento de dados for 0 (JOHNSON; SETHARES, 2003). O controle da frequência a partir do sinal modulante é exemplificado na Figura 8.

Figura 8: Modulação Frequency-shift keying



Fonte: Forouzan (2013) [Adaptado]

A fórmula que descreve o sinal modulado  $s(t)$  na modulação FSK é semelhante a Equação 6. Porém, para o símbolo 1 temos a representação do sinal modulado a partir da primeira frequência portadora  $f_1$  e para 0 utilizamos a segunda frequência portadora  $f_2$ . Este processo está descrito na Equação 7.

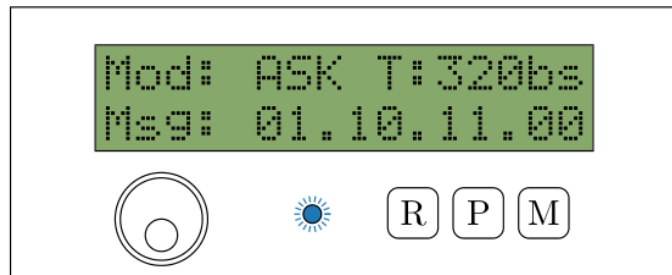
$$b(t) = \begin{cases} \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_1 t) & , \text{para o símbolo binário 1} \\ \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cos(2\pi f_2 t) & , \text{para o símbolo binário 0} \end{cases} \quad (7)$$



### 3 PROJETO

O presente projeto possui como interface homem-máquina ilustrado na Figura 9. Verifica-se no *display* algumas nomeações como “Mod” trata-se da modulação. Em “ASK” temos o tipo de modulação a qual foi feita. Em “T” temos a taxa de transmissão que será melhor explicada posteriormente e a mensagem específica (Msg).

Figura 9: Interface homem-máquina do mini SDR



Fonte: (DIAS, 2021)

O sistema em questão tem-se elementos em sua interface homem-máquina do mini SDR conforme a Figura 10.

Figura 10: Elementos da interface homem-máquina do mini SDR

Elemento	Descrição
	Display LCD para exibição dos parâmetros do SDR
	Potenciômetro para ajuste dos parâmetros do SDR
	LEDs da sinalização do envio correto da mensagem (azul - ok)
	Botão para visualizar a mensagem enviada ( <i>Pushbutton</i> )
	Botão para visualizar o ajuste da portadora ( <i>Pushbutton</i> )
	Botão para visualizar o ajuste da modulação ( <i>Pushbutton</i> )

Fonte: (DIAS, 2021)

O funcionamento do sistema do mini SDR funciona como um modulador configurável. Isto é, na entrada do conversor A/D tem-se um sinal correspondente a mensagem a ser enviada com amplitude máxima de 2.5 Volts, *offset* de 2.5 Volts. A mensagem a ser enviada possui frequência entre 1Hz-10Hz para a situação de uma modulação analógica. Já a taxa de transmissão entre 8bps-80bps para o caso digital e a frequência da portadora é entre 100Hz-999Hz.

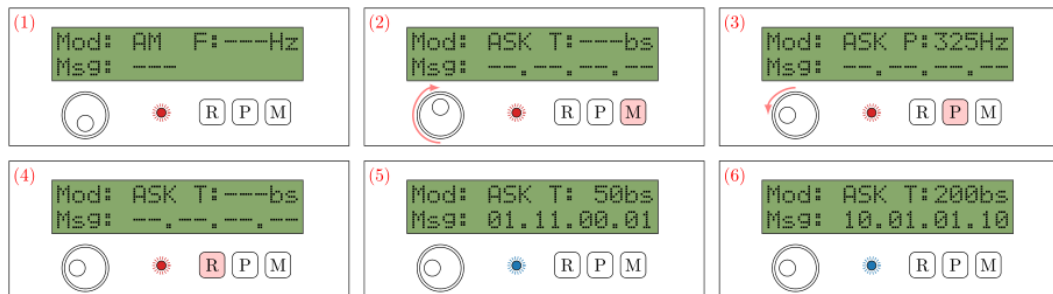
O mini SDR será responsável por modular o sinal de acordo com a configuração pré-ajustada pelo usuário e exibir a mensagem a ser enviada no *display* LCD. Vale lembrar que o *display* mostrará a última mensagem que foi modulada com sucesso. Além disso, temos umas particularidades:

- (a) No caso analógico, exibirá o seu valor decimal no *display*;
- (b) No caso digital, a mensagem a ser enviada exibirá o seu valor em binário.

A mensagem a ser enviada após processo de modulação deverá ser aplicada no conversor D/A, e este possui 8 *bits* de resolução. O ajuste do tipo de modulação será realizado através do botão “M” e do potenciômetro. Já o ajuste do valor da portadora será realizado através do botão “P” e do potenciômetro. Para a exibição da mensagem a ser enviada e de sua frequência no *display*, basta o usuário pressionar o botão “R”. O LED em azul indica o sucesso no envio das mensagens, caso contrário o LED ficará em vermelho.

Em relação ao procedimento do ajuste do mini SDR para a realização da modulação ASK ele pode ser visto conforme a Figura 11. Estando no modo “Run” (1), o usuário pressionará o botão “M” para inicializar o processo de ajuste da modulação. Isso resultará na mudança para o modo Modulação (2). Para definir o tipo de modulação basta girar o potenciômetro no sentido anti-horário até o *display* exibir ASK. E após definir o tipo de modulação, o usuário deverá pressionar o botão “P” para mudar para o modo Portadora (3).

Figura 11: Infográfico do ajuste do mini SDR para modulação do ASK com portadora em 325Hz



Fonte: (DIAS, 2021)

Deve-se pressionar o botão “R” para finalizar o processo de ajuste dos parâmetros e retornar o mini SDR para o modo Run (4). Após o ajuste do mini SDR, sempre que uma mensagem for modulada e enviada adequadamente, a mensagem e sua taxa de transmissão serão exibidos no *display* LCD (5,6). Sendo assim, o circuito se comporta dessa maneira citada anteriormente.

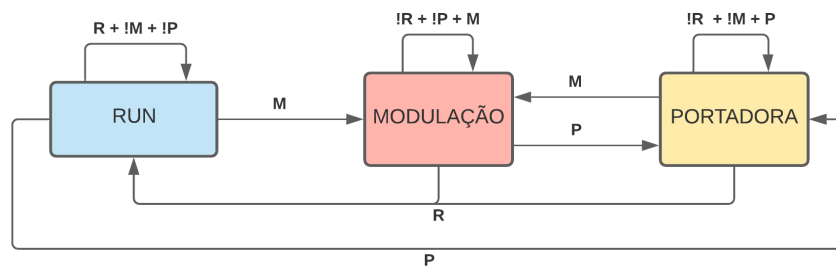
Para este projeto será considerado um clock geral de 8Mhz, sendo indicado uso do clock interno do ATmega328p. E por causa desta configuração o conversor A/D deverá atuar com prescale de 16 para que se atinja 500Khz de clock atuando no modo *free running*. Além disso, quando houver carregamento de sinal digital no sistema o conversor A/D não será utilizado.

Nos próximos tópicos serão descritos os passos utilizados pelo grupo durante a construção da lógica que servirá de base para a futura criação do código e do circuito esquemático. Bem como o fluxograma feito pelo grupo e os processos internos referente a cada etapa do fluxograma.

### 3.1 Fluxograma de Projeto

A priori foi feita a criação do fluxograma mostrada na Figura 12, ao qual, demonstra a forma como os modos (RUN, MODULAÇÃO e PORTADORA) operam. O sistema inicia no modo “RUN”. Caso o usuário não aperte os botões “M” e “P” e estando o botão “R” ativado, implica dizer, que ele ficará nessa recursividade do seu próprio modo de operação, isto é, em “RUN”, uma vez que usa-se a ideia do *debounce*. Estando no modo “RUN” a partir do momento em que o usuário deixou de pressionar o botão “R” e aperta o botão “M” ele irá para o modo de modulação.

Figura 12: Fluxograma



Fonte: Elaborado pelos autores

Seguindo a mesma linha de raciocínio do modo “RUN”, foi feito também a condição da recursividade em “Modulação”, isto é, ele ficará em seu modo enquanto o botão “M” ainda estiver pressionado. Caso o usuário, aperte o botão “P” ele irá para o modo de “PORTADORA”. Estando nela, ficará nela enquanto o botão “P” não for pressionado. E para voltar ao modo “RUN” basta pressionar o botão “R”.

Também foram realizadas algumas particularidades, por exemplo:

- Em “MODULAÇÃO” para voltar o modo “RUN” basta o usuário apertar o Botão “R” ;
- Em “RUN” para ir até em “PORTADORA” basta o botão “P” ser pressionado;
- Em “PORTADORA” para voltar ao modo de “MODULAÇÃO” basta o usuário apertar o botão “M”.

No item (a) significa dizer que somente foi feita a configuração da modulação. Mas ela ainda não foi feita. E em (c) indica que está configurando a portadora. A partir do

fluxograma já mencionado, nos próximos tópicos iremos detalharmos os processos internos nos modos “RUN, MODULAÇÃO e PORTADORA”.

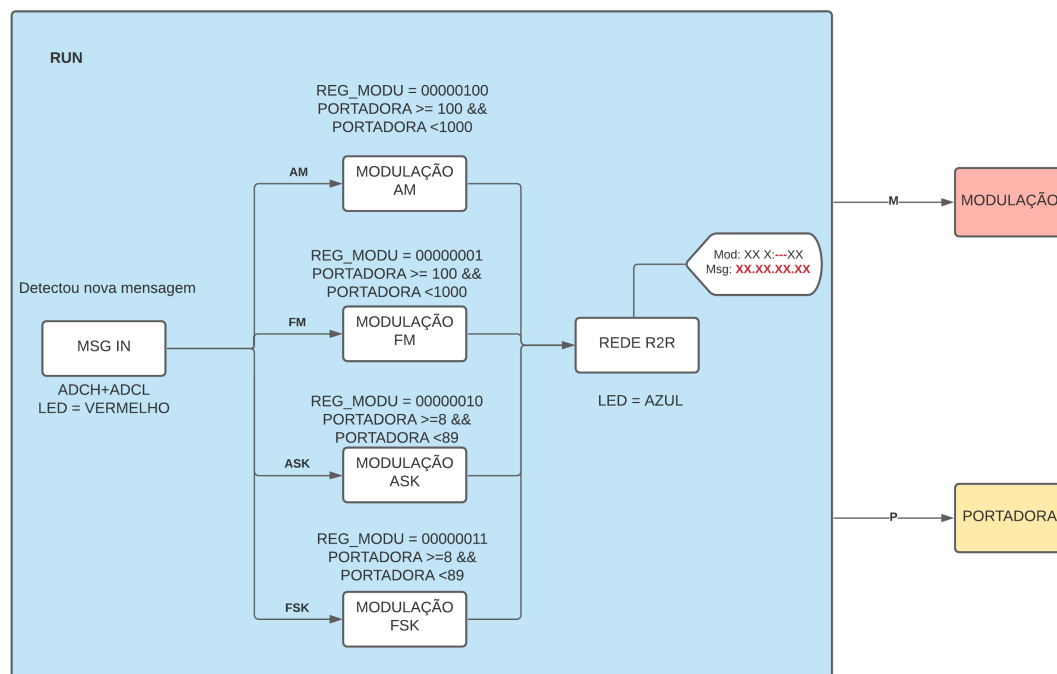
### 3.1.1 Processo Run

Run é o processo principal do sistema. É nele onde será feita a modulação da mensagem, baseado em qual modo de modulação estiver configurado e também na frequência/taxa de transmissão da portadora.

Importante lembrar que durante as configurações iniciais do sistema, os valores que configuram a modulação estão todos zerados, então a máquina não deve fazer nenhuma modulação, mesmo que entre alguma mensagem.

Apenas no final, quando a mensagem já foi modulada e transferida para a rede R2R é que o *display* será atualizado com os dados dessa mensagem, isso é, a informação da mensagem e a frequência ou taxa de transmissão que está sendo transmitida. O *display* só é atualizado no final pois, caso uma próxima mensagem não consiga ser modulada ou então se algum outro processo esteja ocorrendo, os dados da última mensagem transmitida devem continuar aparecendo no *display* conforme a Figura 13.

Figura 13: Fluxograma - Processo RUN



Fonte: Elaborado pelos autores

### 3.1.2 Processo Modulação

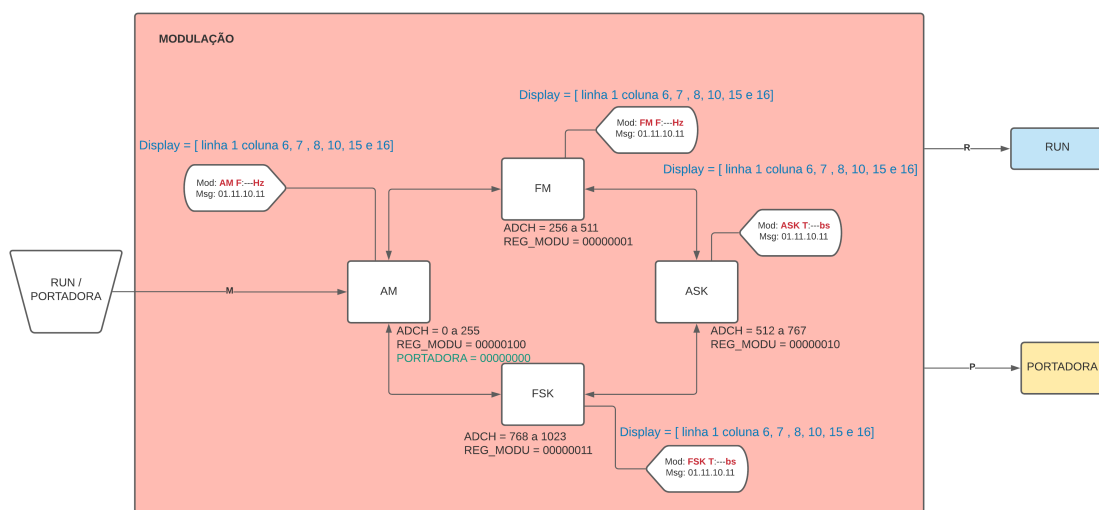
Processo de Modulação é onde o usuário vai decidir qual a forma de modulação será utilizada nas próximas mensagens. A máquina entrará nesse estado quando o botão M for pressionado e por padrão, já entrará na opção “AM” e o *display* será atualizado com essa informação.

Existe a situação onde a portadora estará definida para uma frequência, por exemplo 999Hz, e o usuário selecionar um modo de transmissão digital (ASK ou FSK). Para evitar que a mensagem seja modulada de forma incorreta e gere algum problema na transmissão, foi definido que no momento em que o botão M for pressionado, também será zerado o valor da portadora, ou seja, se mudar a forma de modulação, o usuário também deverá corrigir o valor da portadora.

Para alterar os modos de modulação, tendo em vista que são apenas 4 modos de seleção, foi dividido o valor dos 10 bits (0 a 1023) entre os quatro modos, sendo eles:

- AM: 0 a 255
- FM: 256 a 511
- ASK: 512 a 767
- FSK: 768 a 1023

Figura 14: Fluxograma - Seleção de modulação



Fonte: Elaborado pelos autores

Na figura 14 também é possível notar que ficou destacado em vermelho as alterações que devem ser feitas no *display*, caso o usuário altere o valor do potenciômetro e um novo modo seja selecionado. Também ficou definido na imagem as posições dos caracteres que devem ser atualizados dentro do *display* (definidos pela cor azul).

### 3.1.3 Processo Portadora

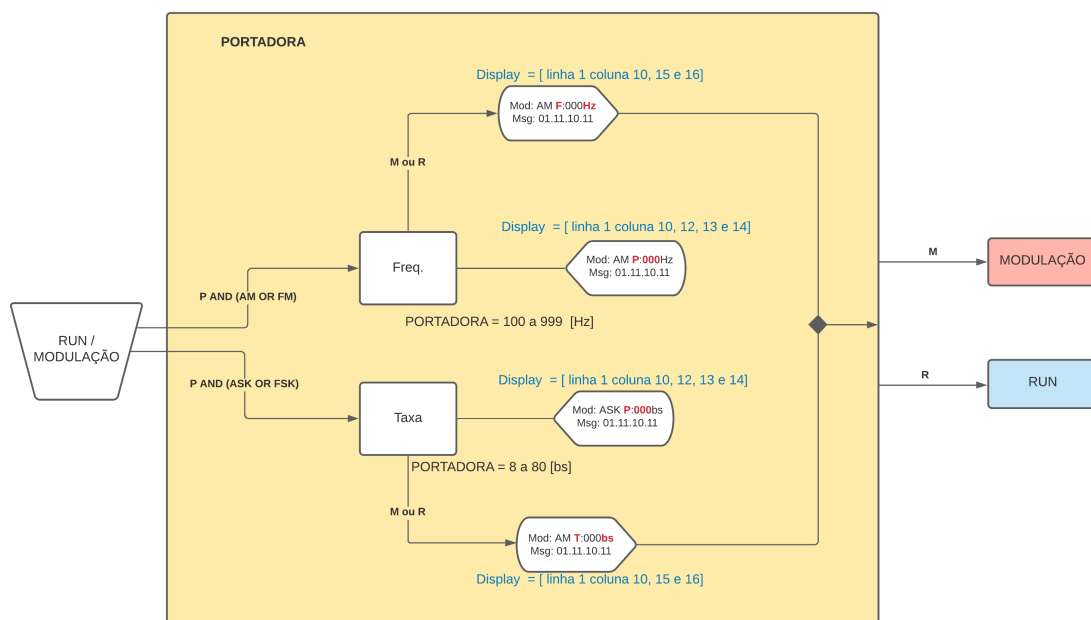
Quando o botão P for pressionado, o sistema vai entrar no processo da portadora, onde será definido a frequência ou a taxa de transmissão para a portadora. Porém antes de qualquer coisa, é feita uma verificação para saber se o modo de modulação está para frequência ou para taxa, pois os valores que vão ser passados pelo potenciômetro vão depender dessa primeira verificação.

No estado “Freq.”, os valores do conversor AD devem ir de 100 a 999, então no projeto foi decidido usar uma simples regra de 3 baseado na referência [5v - 999Hz] e caso o conversor esteja dando valores abaixo ou igual a 100, então o valor deve ficar travado em 00.

O estado “Taxa” também vai funcionar da mesma forma, porém agora usando os valores de referência de 80 para 5V e 8 para 0V. Então será usado a regra de 3 para o valor máximo e travar em 8 quando a conversão estiver igual ou abaixo de 8.

Assim como os outros fluxogramas, sempre que é necessário alguma alteração no *display*, eles estão bem definidos com a cor vermelha, assim como as posições de cada dígito na matriz do *display* ilustrada na Figura 15.

Figura 15: Fluxograma - Seleção de portadora



Fonte: Elaborado pelos autores

## 3.2 Configuração do Display

Neste trabalho é indicado a utilização da configuração de 4 bits do *display* devido a pouca quantidade de pinos do microcontrolador. Para isso serão utilizados os pinos de

D4 a D7 do display e para o controle serão necessários o RS, R/W e E, sendo que o R/W pode receber nível lógico baixo a todo momento, ou seja, são dedicados apenas 6 pinos do microcontrolador para o *display*.

No primeiro momento, após a inicialização do *display*, é preciso definir a configuração de 4 bits, para isso, RS recebe 0 (indicando que comandos serão inseridos), na outra instrução o E recebe 1, já as portas D7, D6, D5, D4 recebem, respectivamente, "0010", e para dizer ao *display* que serão utilizadas as duas linhas, RS recebe 0, E recebe 1, e para as portas de D7-D4 recebe 1000. Ou seja, a primeira e segunda instrução será, respectivamente, 010010 e 011000.

Para ligar o *display*, os dois comando necessários são "010000" e "011110". No terceiro estágio (*entry mode set*), os comandos "010000" e "010110", configura o modo de incrementar o endereço em um e desloca o cursor para direita no momento da escrita de um dado na memória do controlador. Ainda para escrever algo no *display*, como por exemplo um 'H' (consulte a Figura 3), deve ser colocado "110100" e posteriormente "111000". Por fim, caso seja necessário inserir um conteúdo na segunda linha do display, é preciso fazer as seguintes inserções "011100" logo após a instrução "010000"

### 3.3 PINAGEM

Em relação as pinagens do ATMEGA328P o grupo indica que tenham:

- (a) Pinagem R2R: 8 pinos de saídas digitais;
- (b) Display: 6 pinos de saídas digitais;
- (c) Sinal de entrada: 1 pino de entrada analógica;
- (d) Potenciômetro: 1 pino entrada analógica;
- (e) Botões: 3 pinos entradas digital;
- (f) Led RGB (Cátodo): 2 pinos saídas digitais.

## Referências

- DIAS, S. **Sistemas Digitais - Problema 05 - Projeto**. [S.l.], 2021. Citado nas pp. 17, 18.
- FOROUZAN, B. A. **Data Communications and Networking**. [S.l.]: McGraw-Hill, 2013. v. 5. Citado nas pp. 12, 14.
- GOBBI, M. C.; KERBAUY, M. T. M. **Televisão digital: informação e conhecimento**. Editora UNESP, 2010. Citado na p. 7.
- HAYKIN, S.; MOHER, M. **Introdução aos sistemas de comunicação**. [S.l.]: Bookman Editora, 2009. Citado na p. 15.
- HITACHI. **HD44780U (LCD-II)**. 1998. Disponível em: <https://blog.eletrogate.com/wp-content/uploads/2018/04/HD44780.pdf>. Acesso em: 08.08.2021. Citado na p. 11.
- JOHNSON, C. R.; SETHARES, W. A. **Telecommunication Breakdown**. [S.l.]: Prentice Hall, 2003. v. 1. Citado nas pp. 13–16.
- OHNHÄUSER, F. **Analog-Digital Converters for Industrial Applications Including an Introduction to Digital-Analog Converters**. [S.l.]: Springer, 2015. v. 1. Citado na p. 7.
- OLIVEIRA, A. P. d. **Princípios de Comunicações - Modulação ASK PSK FSK**. [S.l.: s.n.], 2015. Citado na p. 15.
- PELGROM, M. **Analog-to-Digital Conversion**. [S.l.]: Springer, 2017. v. 3. Citado na p. 9.
- SALERNO, C. H.; CAMACHO, J. R.; OLIVEIRA FILHO, A. S. Controle de Velocidade do Motor de Indução Trifásico utilizando Microcontroladores para Aplicações em Baixa Potência. **SEMINÁRIO NACIONAL DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO**, v. 3, p. 105–110, 2003. Citado na p. 7.
- SANTOS, S. N. d.; COSTA, M. J. Percepção de fala no ruído em idosos usuários de próteses auditivas com diferentes microfones e algoritmo de redução de ruído. **Audiology-Communication Research**, SciELO Brasil, v. 21, 2016. Citado na p. 7.
- SILVA, F. R. d. Módulo transmissor e receptor OFDM sintetizado em hardware FPGA, 2019. Citado na p. 7.
- VIEIRA, R. P. et al. Abordagem geométrica para modulação de conversores três braços no acionamento de máquinas de indução bifásicas simétricas e assimétricas. **Sba: Controle & Automação Sociedade Brasileira de Automatica**, SciELO Brasil, v. 23, n. 1, p. 14–24, 2012. Citado na p. 7.



## ANEXOS

## ANEXO A - Relato semanal

**Líder:** Marcelo Ferreira Mota Júnior

### A.1 Equipe

Tabela 1: Identificação da equipe

Função no grupo	Nome completo do aluno
Redator	ALYSSON FERREIRA DA SILVA
Debatedor	WESLEY BRITO DA SILVA
Videomaker	GABRIEL CAVALHEIRO FRANCISCO
Auxiliar	ALLYSSON DE ANDRADE SILVA

### A.2 Defina o problema

A problemática do projeto trata-se em desenvolver uma lógica para que possa ser desenvolvido um código em linguagem de programação C, como também um circuito esquemático, baseado em um ATMEGA328P que possibilite a implementação de um mini rádio definido por software (SDR). Ele consiste enviar informações tanto analógicas ou digitais capaz de modular quatro técnicas de modulação, são elas: AM, FM, ASK e FSK. Para isso, o SDR deve mostrar o valor da mensagem enviada em binário.

As modulações AM e FM são ditas como sendo analógicas, assim, o SDR deve aparecer um valor inteiro de 8 *bits* correspondente a amplitude de uma amostra da mensagem a ser enviada. Já as modulações ASK e FSK, são ditas como sendo digitais. Logo, o SDR mostra o conjunto de 8 *bits* da mensagem enviada. A saída do SDR possuirá um display LCD 16x2 e uma saída analógica de 8 *bits* através de um conversor D/A implementado por uma rede R2R.

### A.3 Registro de *brainstorming*

Durante a semana as reuniões aconteceram sempre no período noturno. Por outro lado, no final de semana elas aconteceram em dois períodos: 15h às 17h e a partir das 20:30h. Sempre respeitando, claro, as disponibilidades dos membros do grupo. A sequência dos dias e dos pontos debatidos são descritos abaixo:

1. Dia 04/08: não houve reunião. Mediante as disponibilidades e o tempo propício a cada um estudar os respectivos assuntos;
2. Dia 05/08: Criação do fluxograma, separação dos valores das correntes das saídas dos potenciômetro e debate sobre a configuração do display;

3. Dia 06/08: Criação e procedimentos internos em Run, Modulação e Portadora;
4. Dia 07/08: Alterações e correções do item 2, pinagem do ATMEGA328P e direcionamentos dos registradores para cada modulação ;
5. Dia 08/08: Últimos detalhes do item 4 ;
6. Dia 09/08: Construção do relatório;

#### **A.4 Pontos-chaves**

Os pontos-chaves desta semana primeiramente foram as revisões nos assuntos de modulação, uso e utilização do SDR, display LCD. Bem como verificar como será a comunicação entre o ATMEGA328p utilizando a rede de comunicação R2R que posteriormente fará e indicará qual o último procedimento de modulação feito que possa ser visualizado no LCD.

#### **A.5 Questões de pesquisa**

Foram necessárias pesquisas quanto aos seguintes aspectos:

1. SDR;
2. Comunicação R2R;
3. ATMEGA328P;
4. Modulação;
5. LCD;
6. Conversor A/D;

#### **A.6 Planejamento da pesquisa**

A cada dia de finalização de reuniões foram descritos os tópicos futuros, a serem estudados, em detrimento para a criação da lógica referente a semana de projeto.

# ANEXO B - FLUXOGRAMA

