

## **ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL pH SOBRE LA FOTODEGRADACIÓN DE TINTE AMARANTO POR RADIACIÓN SOLAR**

**Autores:** Larêssa Nogueira de Resende<sup>1</sup> (laressanogueiraresende@gmail.com), Fernando Pereira de Sá<sup>1</sup> (fernandofpsa@gmail.com), Elisangela Cardoso de Lima Borges<sup>1</sup> (elisclb@yahoo.com.br)

<sup>1</sup> *Instituto Federal de educación, ciencia y tecnología, Campus de la Avenida de la Universidad de Brisbane, s/n Valle de árboles de guayaba, Inhumas-Goiás, Brasil*

### **Resumen:**

En la actualidad el tema ambiental ha adquirido una mayor atención trayendo como resultado una conciencia creciente del problema de la contaminación del medio ambiente. Debido a esto, se han adoptado nuevas normas y leyes cada vez más restrictivas con el fin de minimizar el impacto ambiental. La disposición de efluentes coloreados en el ecosistema es una espectacular fuente de contaminación estética, eutroficación y perturbación en la vida acuática. La necesidad de tratamiento de efluentes eficaz viene-convertirse en una preocupación creciente para minimizar los problemas ambientales. Debido a esto, la fotocatalisis heterogénea en procesos oxidativos está ganando cada vez más espacio avanzado en tratamiento de aguas residuales. Uno de los parámetros importantes que pueden garantizar la eficacia de este tipo de tratamiento es la variación de pH. En esta investigación, el proceso de fotodegradación utilizando la radiación ultravioleta, el efluente sintético de tinte amaranto se evaluó a través de las variables: pH, póngase en contacto con el tiempo, en la ausencia y presencia del fotocatalizador. Cuantificación de colorantes en soluciones, antes y después de la fotodegradación, fue realizada con el uso de la espectroscopia de UV/Vis a través de la metodología, los resultados obtenidos mostraron que el tratamiento de este colorante por fotodegradación solar fue satisfactoria en la descomposición de la misma, con concentración de 10 mg/L, en la presencia o ausencia de óxido de zinc y la variación de pH durante una exposición de aproximadamente 9 horas. Además, se observó que el pH de la solución es un parámetro fundamental en la eficiencia de este proceso, y en las muestras sin el uso del catalizador el mejor pH fue 12, con el uso del mejor catalizador fue el pH 2.

### **Abstract:**

At present the environmental issue has acquired a greater focus by bringing as a result a growing awareness of the problem of contamination of the environment. Because of this, new standards and increasingly restrictive laws have been adopted in order to minimize the environmental impact. The disposal of colored effluent in the ecosystem is a dramatic source of aesthetic pollution, eutrophication and disturbance on aquatic life. The need for effective effluent treatments come-becoming a growing concern to minimize the environmental problems. Because of this, the heterogeneous photocatalysis inserted in Oxidative Processes is increasingly gaining Advanced space in wastewater treatment. One of the important parameters that can ensure the efficiency of this type of treatment is the variation of pH. In this research, the photodegradation process using ultraviolet radiation, the synthetic effluent consisting of the dye Amaranth was evaluated through variables: pH, contact time, in the absence and presence of Photocatalyst. Quantification of dyes in solutions, before and after the photodegradation, was performed with the use of UV/Vis spectroscopy through the methodology the results obtained showed that the treatment of this dye by solar photodegradation was satisfactory in the breakdown of same, using concentration of 10 mg/L, in the presence or absence of zinc oxide and pH variation during an exhibition of approximately 9 hours. In addition, it was noticed that the pH of the solution is a crucial parameter in the efficiency of this process, and in the samples without the use of the catalyst the best pH was 12, with the use of the best catalyst was the pH 2.

## 1 INTRODUCCIÓN

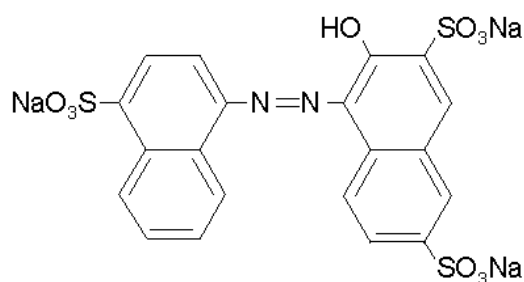
Debido al adelanto del desarrollo industrial, ya sea en el área urbana o en el área agrícola, la cantidad de contaminantes que se liberan al medio ambiente ha estado sufriendo un drástico aumento en los ambientes acuáticos se ven perjudicado porque las hojas agua subterránea, ríos, lagos, entre otros, llegando a ser el paradero final de estos contaminantes (BONANCÊA, 2005).

Las industrias de cosméticos, papel, cuero, textiles, entre otros, utilizan grandes cantidades de colorantes y consumen agua limpia en los procesos de producción, regresa al ambiente como efluente. La disposición de efluentes coloreados en el ecosistema es una espectacular fuente de contaminación estética, eutroficación y perturbación en la vida acuática (LUCILHA; TAKASHIMA, 2009).

Según Daneshvar et. al (2005), se estima que aproximadamente 700.000 toneladas de 10.000 diferentes tipos de colorantes y pigmentos se producen anualmente en el mundo, y estos son parte de los procesos industriales de diversos sectores. Debido a que, con el tiempo, ver el creciente interés en temas ambientales y se puede ver en la creación de nuevas normas y leyes que reduzcan los impactos causados por estos contaminantes.

De acuerdo con Sá (2013), los colorantes son compuestos orgánicos que debido a la presencia de grupos cromóforos como nitro, nitroso, azo y carbonilo, tienen la propiedad de absorber luz visible selectivamente, siendo tan coloridas. Una de las aplicaciones es el uso de colorantes en las industrias alimentarias. Según el artículo 10 del Decreto° 55.871, 26 de marzo de 1965 (Agencia Nacional de Vigilancia Sanitaria, 1965), existen tres categorías de colores permitieron para el uso en los alimentos: los tintes naturales, colorante caramelo y colorantes artificial fibras sintéticas. Con el uso de ellos, los colores se agregan a los alimentos principalmente para restaurar la apariencia original (afectada durante las etapas de procesamiento, envasado, almacenamiento o distribución), para hacer visualmente más atractivo (ayudando a los alimentos identificar el aroma normalmente asociado a determinados productos), para dar color al color sin y para reforzar los colores presentes en los alimentos.

El tinte amaranto, que cuenta con la longitud de onda de máxima absorción ( $\lambda_{Max}$ ) de 540 nm, cae en la clase de colorantes reactivos sintéticos en que su estructura tiene al menos un grupo cromóforo en que presenta el enlace azo (N = N) y los grupos sulfónicos (ARAÚJO; YOKOYAMA; TEIXEIRA, 2006). Este tipo de conexión se puede identificar en la Figura 1, siendo el mismo responsable de la coloración típica del tinte en cuestión.



**Figura 1** . Estructura química del colorante amaranto.

Este tipo de tinte es bastante utilizada en la industria de la comida brasileña que presenta buena estabilidad a la luz, calor y en medio ácido (GODOY; PRADO, 2003). Sin embargo, cuando se produce en ambientes acuáticos sin ningún tipo de tratamiento, se presenta como una amenaza para el medio ambiente debido a su carácter. Según Araújo, Yokoyama y Teixeira (2006), la decoloración que tinte en el efluente se hace por la separación del enlace azo, que puede obtenerse a través del proceso de fotodegradación. Por lo tanto, en medio acuoso, este colorante se disuelve en la disociación y la conversión

de grupos sulfonados en iones característicos de colorantes aniónicos (MALL; SRIVAS-ERA; AGARWAL, 2006).

Para los distintos tipos de procesos de tratamiento de aguas residuales como biológico en carácter, físicos y químicos pueden utilizarse. Métodos de tratamiento biológico de yodo activado es el más utilizado debido a su mayor eficiencia. Métodos físicos, procesos tales como filtración, ósmosis inversa, adsorción, entre otros, pueden ser empleados para el tratamiento de efluentes. Métodos químicos nos ejemplos de procesos como coagulación, floculación, métodos convencionales de oxidación también se presentan como una alternativa a la degradación de aguas residuales coloreadas (SÁ, 2013).

En varios tipos de métodos los Procesos Oxidativos Avanzados (POA's) se están estudiando cada vez más mediante la realización eficiente en el tratamiento de colorantes alimentarios. Este proceso se basa en la formación de oxidantes altamente especie tales como el radical hidroxilo ( $\text{OH} \bullet$ ) que es capaz de promover la degradación de distintos compuestos contaminantes por la presencia o ausencia de la radiación UV (SOBRINHO, 2014). Por lo tanto, en la mineralización de los POA se produce en la gran mayoría de contaminantes orgánicos presentes en los colorantes artificiales, es decir, el compuesto sólo es transferido de la etapa, pero destruido y convertido en dióxido de carbono, agua y aniones inorgánicos (SOBRINHO, 2014).

Entre el POA hay sistemas como la fotocatalisis de fotocatalisis homogénea y heterogénea. Entre estos, uno puede citar los procesos que implican el uso de ozono, el peróxido de hidrógeno, descomposición catalítica del peróxido de hidrógeno en medio ácido y semiconductores como dióxido de titanio y óxido de zinc (fotocatalisis heterogénea) (NOGUEIRA; JARDIM, 1998). La gran diferencia entre ambos es que en el catalizador homogéneo sistema se disuelve en la fase acuosa y sistema catalizador heterogéneo es utilizado en otra fase de la solución en cuestión (BONÂNCEA, 2005). Además, Bonância (2005) informes que, al hacer una comparación entre los dos sistemas, la homogénea se convierte como viable porque el catalizador en fase acuosa puede presentar problemas para el medio ambiente.

Según varios estudios realizados en la rama de fotodegradación utilizando el método de la fotocatalisis heterogénea, el catalizador más utilizado para el tratamiento de tintes es dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) para ser muy eficientes en la degradación de compuestos orgánico (SOBRINHO, 2014). Sin embargo, otro catalizador que puede ser utilizado para este tipo de procesos es óxido de zinc ( $\text{ZnO}$ ). Además de ser asequibles y no tóxico, alta actividad de óxido en varios procesos fotoquímicos de zinc presentando el boquete de la venda de la energía de 3,37 eV que es similar a la de dióxido de titanio (3,2 eV) (BORTOLINI, 2017). Otras ventajas sobre el óxido de zinc es que cuenta con alta conductividad térmica y buena estabilidad térmica, propiedades químicas, eléctricas, ópticas y física gran gusto para Utilidades varias (BORTOLINI, 2017).

Proceso de fotocatalisis se son varios los factores que influyen en la eficacia de su reacción como, por ejemplo, la morfología del fotocatalizador, intensidad de radiación, la temperatura de la solución, la longitud de onda de luz, concentración de iones, presencia de contaminante, la cantidad de catalizador, modelo de reactor y variación de pH (SOBRINHO, 2014). Entre estos, la variación de pH ha sido destacada en las encuestas por que afectan la eficiencia de la reacción fotocatalítica debido a posibles interacciones electrostáticas entre el fotocatalizador y el sustrato en la solución (SOBRINHO, 2014).

## 2 OBJETIVOS

El trabajo tiene como objetivo principal estudiar la influencia del pH en la fotodegradación, radiación solar, la colorante amaranto.

### 3 METODOLOGÍA

#### 3.1 Materiales

El colorante de alimentos amaranto, Figura 1, fue amablemente proporcionada por el importador Brastóquio, se utiliza sin tratamiento previo. El ZnO como cristalería, soluciones de casquillos, soluciones ácidas y básicas han sido proporcionadas por el laboratorio de química y energía y medio ambiente del Campus Inhumas.

#### 3.2 Preparación de la solución de colorante amaranto

Preparación de la solución contenida en la fotorreactor fue realizada por tres pasos. En el primer paso de la solución estándar preparada mide 500 mg de colorante y agregar 500 ml de agua destilada, resultando por lo tanto en una solución de 1000 mg/L en la segunda etapa se agregaron a un volumen de 5 litros de agua destilada, una parte alícuota de la solución previamente preparado estándar. En el último paso se agregaron 100 mg de catalizador de óxido de zinc (ZnO).

#### 3.3 Fotorreactor

Para el tratamiento del colorante amaranto se desarrolló un fotorreactor solar basado en el modelo propuesto por Ferreira y Daniel (2004), Figura 2. El reactor cuenta con base metálica con las siguientes dimensiones de 1.30 x 1.0 m en la parte superior de este metal base se concentra un espejo con medidas de 0,7 x 0,5 m responsables para que refleja la luz del sol a través de toda la longitud del cuarzo dos tubos que son el hogar de los efluentes. La conexión entre los tubos del cuarzo se hace mediante el uso de mangueras que completan el circuito donde está la solución. El efluente a tratar se almacena en un recipiente de metal que, a través de bombeo, pasando por cuarzo tubos hasta llegar de nuevo al contenedor.



**Figura 2 .** Fotorreactor, con el uso de la radiación solar utilizado en experimentos de irradiación, que contiene la solución de colorante amaranto.

### 3.4 Recolección de datos

Las colecciones de las muestras se realizaron aproximadamente 2 horas 14:00 comenzando a las 8:00 y final a las 16 horas durante 2 días. Cada muestra recogida pH modificaciones en 2, 4, 6, 8, 10 y 12, en una concentración de 10 mg/L, con y sin la presencia de óxido de zinc. Se han evaluado, también, la variación en la temperatura y el tiempo en que fueron recogidos.

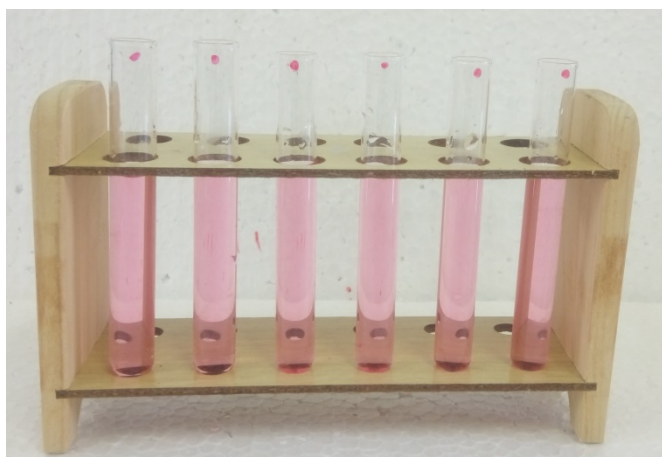
### 3.5 Caracterización

El monitoreo de la decoloración de las soluciones se realizó por espectroscopía UV-VIS espectrofotómetro digital Bel fotónica, utilizando cubetas de cuarzo de 5 cm<sup>3</sup> (camino óptico de 1 cm), con la exploración de seguimiento entre 190 y 800 nm.

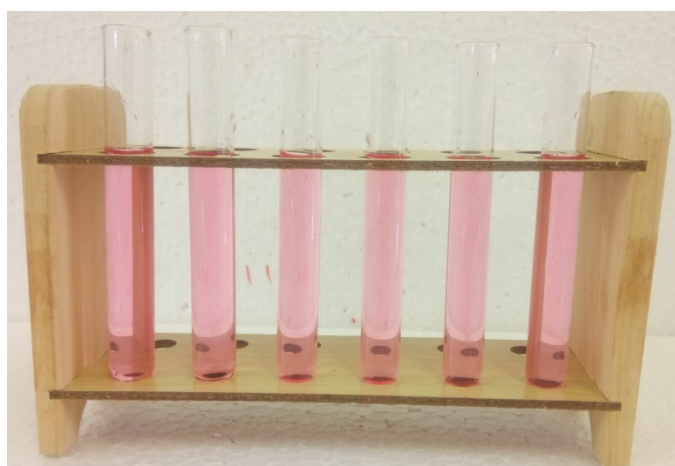
## 4 RESULTADOS

### 4.1 Eficiencia de óxido de zinc en la fotodegradación en el pH natural

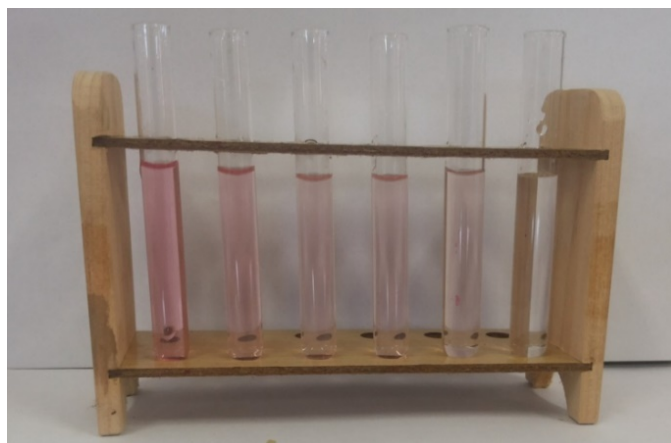
La cantidad de catalizador es uno de los factores que interfieren con la eficacia del proceso de fotocatalisis heterogénea. Evaluar la cantidad óptima y, en consecuencia, la efectividad del óxido de zinc en la decoloración del tinte amaranto fueron analizadas muestras de 10 mg de óxido de zinc (Figura 3), (Figura 4) de 50 mg y 100 mg (Figura 5) en 5 litros de solución.



**Figura 3.** Muestras del colorante Amaranto (10 mg / L), en pH natural, con la utilización de 10 mg de ZnO en varios tiempos de irradiación.

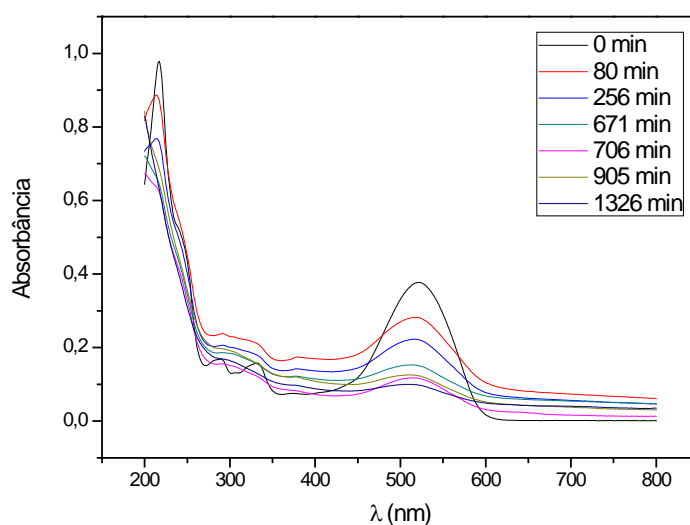


**Figura 4.** Muestras del colorante Amaranto (10 mg / L), en pH natural, con la utilización de 50 mg de ZnO en varios tiempos de irradiación.



**Figura 5.** Muestras del colorante Amaranto (10 mg / L), en pH natural, con la utilización de 100 mg de ZnO en varios tiempos de irradiación.

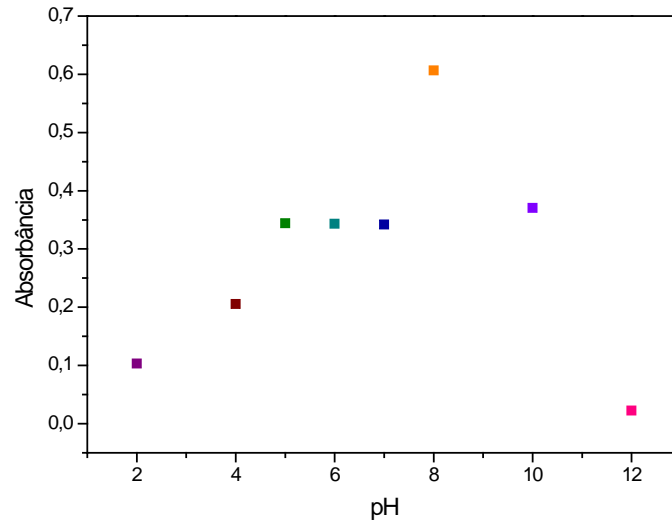
Como se puede observar en las Figuras 3 y 4 las cantidades de 10 mg y estudió 50 mg para la fotodegradación de tinte en cuestión no fueron satisfactorios ya que no había ninguna descoloración significativa del amaranto en el tiempo de irradiación. Con el uso de 100 mg de óxido de zinc (ZnO), decoloración de colorantes en diferentes tiempos de irradiación (Figura 5). Además, en la Figura 6, es posible observar la disminución de la banda de absorción del tinte que coincide con Sobrinho (2014), que informa de que la eficacia del óxido de zinc está relacionada incluso poseer alta capacidad de absorber el espectro Lo solar establece como un fotocatalizador ideal para tratamientos de coloración mediante el uso de energía solar. Sin embargo, siempre debe evaluar la cantidad óptima para este catalizador se convierte en verdaderamente efectiva durante el proceso de degradación.



**Figura 6.** Espectro de UV/VIS de colorante amaranto (10 mg/L), a pH natural, con el uso de 100 mg de ZnO.

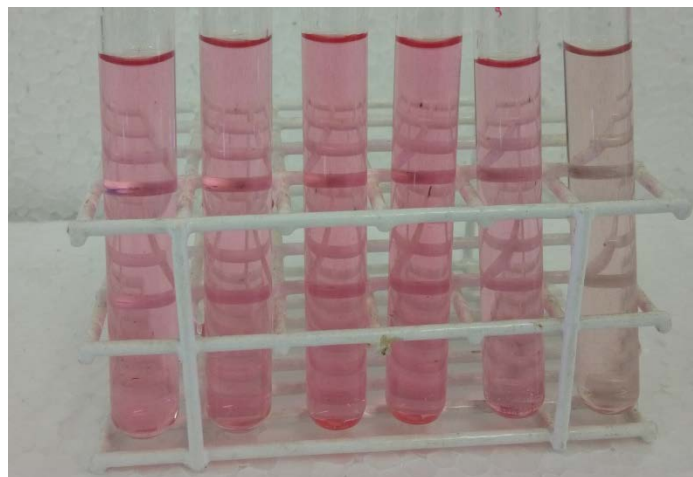
#### 4.2 Eficiencia de fotodegradación de colorante amaranto (10 mg/L) sin y con modificación de pH de ZnO

La Figura 7 muestra la relación entre la absorbancia y el pH de las muestras con concentración de 10 mg/L, correspondiente al tiempo de 360 minutos de exposición a la radiación solar.

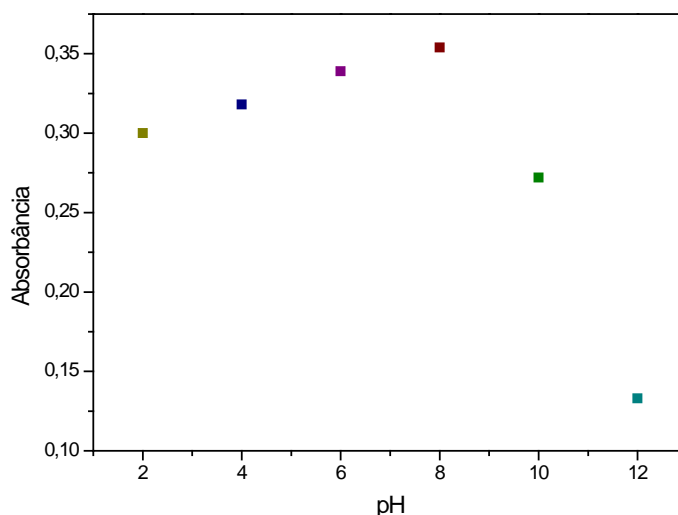


**Figura 7.** Absorbancia a 540 nm del colorante amaranto (10 mg/L) en diferentes pHs de soluciones correspondiente a 360 minutos de irradiación y sin ZnO.

Se puede saber por la Figura 7 que, en relación con el pH 12 fue el más eficiente color colorante amaranto, como también observada en Figura 8 cualitativamente. Esta eficiencia puede explicarse debido a que, como la solución inicial de colorante es el ácido (pH 5), este fenómeno es una consecuencia de la sal de ácido + base  $\rightarrow$  reacción + agua causando en las cantidades grandes de proceso de la tintura a reaccionar reduciendo el absorbancia (FARIA et al., 2011), como se muestra en la Figura 9.



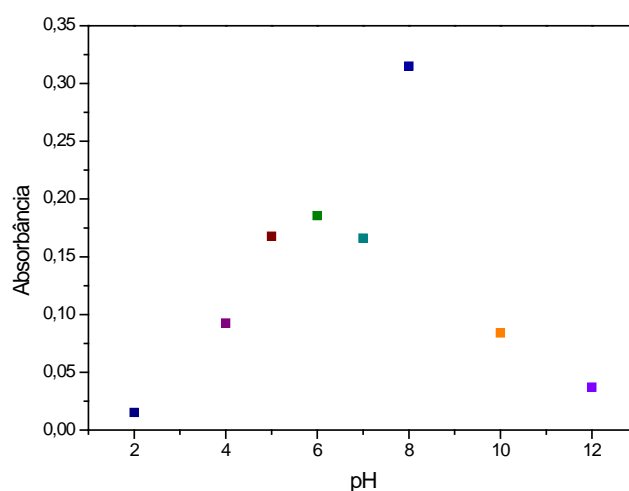
**Figura 8.** Las muestras del colorante amaranto (10 mg/L) en distintos de pH y de la irradiación.



**Figura 1.** Absorbancia a 540 nm del colorante amaranto (10 mg/L) en diferentes pH de las soluciones y la irradiación sin ZnO.

#### 4.3 Eficiencia de fotodegradación de colorante amaranto (10 mg/L) con ZnO y con modificación de pH

En la Figura 10 se puede ver la relación entre la absorbancia y el pH de las muestras correspondientes a los 360 minutos de exposición de la radiación solar en presencia de óxido de zinc.



**Figura 2.** Absorbancia a 540 nm del colorante amaranto (10 mg/L) en diferentes pHs de soluciones correspondiente a 360 minutos de irradiación y con 100 mg de ZnO.

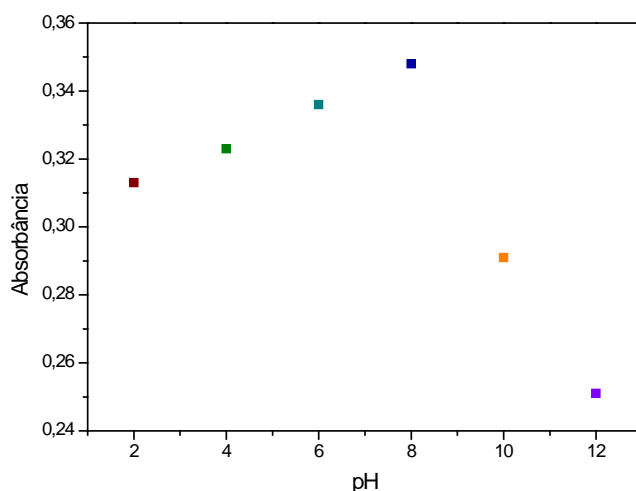
Según lo observado, pH 2 se presentó mayor eficiencia en la decoloración del tinte amaranto. De acuerdo con Sobrinho (2014) el punto isoeléctrico del óxido de zinc es 9.0, lo que significa que para valores donde el pH es mayor que el punto isoeléctrico la superficie de este se carga negativamente y el fotocatalizador para los valores más bajos son cargados positivamente haciendo con interacciones electrostáticas entre el fotocatalizador y el sustrato en la solución.

El pH de la solución afecta a la carga de superficie de los adsorbentes, así como el grado de ionización de distintos contaminantes. Cuando aumenta el pH del sistema, también hay un aumento en el número de sitios activos con carga negativa y carga positiva sitios disminuye (SÁ, 2013).



El tinte amaranto es aniónico, lo que significa que en medio acuoso es la disociación y la conversión de grupos sulfonados en iones. A valores de pH básico, se produce desprotonación de grupos de hidroxilos y las cargas positivas en la superficie del pigmento disminuyen, llevando a disminución de colorantes. Además, el tinte aniónico debe estar en competencia con  $\text{OH}^-$  en las soluciones (SÁ, 2013). Por lo tanto, estos hechos explican el favor aumentando la cantidad absorbida en condiciones ácidas.

Por otro lado, el aumento inusual en la cantidad quitada en pH cerca de 12, puede explicarse por la disminución de absorbancia a  $\lambda_{max}$  de estos tintes en la ausencia del proceso de irradiación, sólo que el medio sea básico (SÁ, 2013), como puede verse en la Figura 11. En efecto similar a lo que ocurre en el proceso sin utilizar ZnO ya descrito.



**Figura 11.** Absorbancia a 540 nm del colorante amaranto (10 mg/L) en diferentes pH de las soluciones y la irradiación con 100 mg de ZnO.

## 5 CONCLUSIONES

Según los resultados descritos anteriormente, podría mostrar que los procedimientos han logrado resultados satisfactorios. A través de este estudio, fue posible observar la influencia del pH en la decoloración del tinte amaranto por la radiación solar. Y, con la presencia de óxido de zinc, pH 2 presentó mayor eficiencia y sin el mismo el pH fue más eficiente 12 que muestra la importancia de este parámetro en el proceso de fotodegradación. Además, también podría ver la eficacia del óxido de zinc como catalizador semiconductor o degradación del colorante amaranto con el uso de una pequeña cantidad de la misma. A través de este estudio, que el uso de esta metodología para el tratamiento de colorantes alimentarios puede considerarse satisfactorio puesto que ofrece la preservación de la calidad del agua en ríos o lagos y aún pudiendo ser reutilizados en el proceso de industriales.

## 6 GRACIAS

El Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás de infraestructura y apoyo financiero.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

LA AGENCIA NACIONAL DE VIGILANCIA DE LA SALUD. Decreto No. 65/55.871 de 26 de marzo de 1965. 1965. disponible en: < [http://www.anvisa.gov.br/legis/decretos-/55871\\_65.htm](http://www.anvisa.gov.br/legis/decretos-/55871_65.htm) >. Acceso en: 24.11.2012.

ARAÚJO, F. V. ; YOKOYAMA, L.; Teixeira, L. A. C. Remoción de color en colorantes reactivos por oxidación con  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ . *Nueva química*, v. 29, p. 11-14, 2006.

- BONANCÊA, C. E. Estudio de los mecanismos de la fotodegradación de los tintes en dióxido de titanio mediante técnicas de Espectroscopía Raman intensificada. São Paulo, 2005. 94 p. tesis doctoral-Universidad de São Paulo.
- BORTOLINI, B. L. Síntesis y caracterización de óxido de zinc nanoparticulado, preparado mediante método solgel, utilizado como catalizador en la descomposición de clorhidrato de ciprofloxacina. 2017.13-19. Tesis Master-Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Paraná.
- DANESHVAR, N. et al. Inmovilización de TiO<sub>2</sub> nanopulvos en cuentas de vidrio para la decoloración fotocatalítica de colorantes azo c.i. directo rojo un 23. *Revista de ciencias ambientales y salud, parte A*, 2005. v. 40 (8), p. 1605-1617.
- FARIA, L. A.; FERNANDES, C. A.; FREITAS, A. C.; SANTOS P. K.; SCOTT I. m. Decoloración y degradación del colorante azo grlx rojo-220 por ozonización. *Nueva química*. v. 34, n. 38, p. 1315-1322, 2011.
- FERREIRA, I. V. L.; DANIEL, I. a. Fotocatálisis heterogénea con TiO<sub>2</sub> aplicada al tratamiento de aguas residuales. *El Sr. documentación ambiental*, v. 9, n. 4, págs. 335-342, 2004.
- GODOY, H. T.; PRADO, M. A. Colorantes en los alimentos. *Alim. NUTR.*, Londres, v. 14, n. 2, p. 237-250, 2003.
- LUCILHA, C.; TAKASHIMA, K. Efectos de agentes de oxidantes y el oxígeno disuelto en la decoloración naranja ácido tinte azo 7 por fotólisis y fotocatalisis. *Nueva química*. v. 32, n. 6, p. 1399-1404, 2009.
- MALL, I. D.; SRIVASTAVA, V. C.; AGARWAL, B. K. Retiro de naranja g y metil violeta tinte por ergatterte en estudio de mosca ashdkinetic de bagazo y hacen análisis de la isoterma de equilibrio. *Colorantes y pigmentos*, v. 69, p. 210-223 de 2006.
- NOGUEIRA, R. F. P; JARDIM, W. F. A. La fotocatalisis heterogénea y su aplicación ambiental. *Nueva química*. v. 21, núm. 1, p. 69, 1998.
- SÁ, F. P. Adsorción y Fotodegradación de Colorantes, Amarillo Crepúsculo y Azul Brillante, para Tratamiento de Efluentes de Industrias Alimenticias. Goiânia, 2013. 109 p. Tesis de Doctorado - Instituto de Química de la Universidad Federal de Goiás.
- SOBRINHO, J. F. A. S. Uso de óxidos de zinc y titanio en la oxidación fotocatalítica de azul de metileno. Aracaju, 2014. Tesis p. 16 – Universidade Tiradentes.