

Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Complejidad Computacional

Genetic Algorithm: Public Illumination

Emmanuel Cruz Hernández

Profesor: Dra. María de Luz Gasca Soto
Ayudante: José Luis Vázquez Lázaró

20 de enero de 2021

Índice

1. Descripción	3
2. Planteamiento del problema	4
3. Solución	8
4. Conclusiones	13

1. Descripción

En el artículo *Application of genetic algorithm for optimization on projects of public illumination* se menciona que la iluminación pública es un factor muy importante para mantener la seguridad en una ciudad, ya que puede prevenir accidentes. Dado que este servicio público requiere de gran expansión en los alrededores de la ciudad, de alguna manera también se busca que la iluminación de las calles sea óptimo, gastando la mínima cantidad de recursos, tales como mástiles (y la altura más efectiva) y focos (considerando la mejor intensidad de iluminación), así como el costo de los cálculos necesarios para la optimización del diseño.

Para encontrar una solución eficiente se hará uso de *Algoritmos Genéticos*, utilizados principalmente para resolver problemas de optimización numérica de funciones y aprendizaje automatizado. La forma de encontrar una buena solución es tener un conjunto de población, que en este caso, serán ejemplares de solución a la mejor forma de poner iluminación pública en una ciudad, dejando siempre las mejores soluciones y desechando las peores, de tal forma que después de ciertas generaciones (o iteraciones) se llegue a una población muy buena.

Algunos de estos parámetros, como la intensidad de iluminación ya están definidos por la NBR 5101 (2012). El mínimo promedio de iluminación ($E_{med,min}$), la mínima uniformidad de iluminación (E_{min}), promedio de iluminación (L_{med}), uniformidad general (U_0) y uniformidad longitudinal (U_L). Dados estos parámetros definidos, se tiene definido el valor promedio, mínimo y general de la intensidad de iluminación que se usa en el cálculo para encontrar los valores más adecuados con ayuda de una malla de control.

La iluminación en los puntos de cruce de la malla de control descrita en NBR 5101 (2012) se calcula por definición a partir de:

$$E_p = \frac{I(\theta)\cos(\theta)}{D^2} \quad (1)$$

donde E_p es la iluminación en el punto P, I la intensidad de luz de la fuente en la dirección del ángulo θ , y θ es el ángulo entre la dirección de la luz y la normal al plano horizontal a través de el punto P (\circ) y finalmente, D es la distancia entre la fuente de luz y el punto P(m).

Para calcular la iluminación que afecta una superficie se utiliza entonces la siguiente fórmula:

$$L = \frac{E_p \rho}{\pi} \quad (2)$$

donde L es la iluminación de la superficie (cd/m^2), E_p es la iluminación en el punto P debido al flujo luminoso de la fuente de luz I_x , y finalmente ρ es el factor de reflexión de la superficie, dada por $\text{cd}/\text{l}_x\text{m}^2$.

Utilizando esta información, se puede dar paso a la estructura del algoritmo genético.

2. Planteamiento del problema

El desarrollo del problema depende de algunos parámetros que deben ser ingresados por el usuario como datos iniciales, tales como la longitud de las calles, en ancho de banda de rodadura, el número de carriles, el ancho del borde de la carretera, el ancho de la franja mediana (si existe), la sangría del mástil, la configuración de la vía (Unilateral, Bilateral Opuesto, Central), el tipo de ruta (tránsito local rápido, arterial, colector, carreteras, caminos), y clasificación del tráfico, de acuerdo con el estándar (ligero, medio, pesado).

Dados los datos anteriores, se usa la teoría de GA ¹ para encontrar los mejores individuos que brinden el menor costo para iluminar un espacio público. Cada uno de estos individuos cuenta con siete características mostradas a continuación.

- x_1 : Altura del mástil, que corresponde a la altitud del mastil considerando también la parte que quedará pantada en el sueño.
- x_2 : Distancia entre mástiles, que corresponde a la distancia en metros entre dos mástiles consecutivos.
- x_3 : Número de pétalos de la luminaria, que es la cantidad que se encuentra entre el mástil de pétalos y al número de lámparas.
- x_4 : Orientación de los pétalos, que dependiendo de la cantidad de pétalos, se definen hasta ocho configuraciones basadas en el ángulo de apertura entre los pétalos.
- x_5 : Longitud del brazo de las luminarias, que define el avance de la lámpara en relación al mástil.
- x_6 : Ángulo del brazo de las luminarias, define el ángulo al mástil paralelo al plano horizontal donde apunta la longitud.
- x_7 : Índice del archivo IES, que da la posición del archivo IES con las características de iluminación de la lámpara

Además, el valor de estas características se encuentran dentro de un rango definido a continuación.

Unilateral	Bilateral Opposite	Central
$5 \leq X_1 \leq 25$	$5 \leq X_1 \leq 25$	$5 \leq X_1 \leq 25$
$10 \leq X_2 \leq 50$	$10 \leq X_2 \leq 50$	$10 \leq X_2 \leq 50$
$X_3 = 1$	$X_3 = 1$	$X_3 = 2$
$X_4 = 1$	$X_4 = 1$	$X_4 = 1$
$0 \leq X_5 \leq 10$	$0 \leq X_5 \leq 10$	$0 \leq X_5 \leq 10$
$0^\circ \leq X_6 \leq 45^\circ$	$0^\circ \leq X_6 \leq 45^\circ$	$0^\circ \leq X_6 \leq 45^\circ$
$1 \leq X_7 \leq n^a$	$1 \leq X_7 \leq n^a$	$1 \leq X_7 \leq n^a$

Para crear la población inicial, primero se verifica que los individuos cumplen con todas las características de acorde a los estándares técnicos establecidos por NBR 5101. A partir de esta

¹Genetic Algorithms

verificación se crean dos grupos: *Individuos Elegibles* e *Individuos No Aptos*. Si un individuo cumple con todos los estándares para el conjunto de *Individuos Elegibles*, de lo contrario, pasa al conjunto de *Individuos No Aptos*.

El cálculo para asegurar que la iluminación cumple las características de los estándares solicitados se realiza con la ecuación (1) y (2), para poder pasar los resultados a una evaluación en base a las condiciones mínimas de iluminación y parámetros descritos en la tabla. Por otro lado, la intensidad se obtiene de los archivos IES disponibles para los fabricantes de luminarias, de donde también se encuentra información de los ángulos utilizados para proyectar la iluminación desde las fuentes en cada mástil, realizando interpolaciones por *spline cúbico* entre los ángulos medidos y los encontrados en el archivo y finalmente determinar el punto de medición entre los ánulos.

Con los datos recabados, se puede hacer una estimación del costo final del proyecto y del valor de aptitud para cada individuo a partir de la siguiente ecuación:

$$A = \frac{K}{C + DK} \quad (3)$$

donde

$$K = 60C_v \quad (4)$$

donde

- A es la aptitud del individuo
- K la constante de control
- C el costo final del proyecto
- D la distancia entre los criterios propuestos por un proyecto
- C_v la longitud de la carretera

Con estos nuevos datos, el costo final del proyecto se define a partir de la influencia de cada característica sobre el individuo. Todos estos parámetros afectan en cálculo del algoritmo a excepción del índice de archivo.

Cada uno de los individuos se va a repartir en uno de dos grupos: *Grupo de Solución*, cuyos elementos se denominan *Individuos Elegibles*; y en el grupo *Alfa*, el cual contiene a individuos con características de proyecto dentro de los estándares, a los que se les llamará *Individuos factibles*. El *Alfa* es el grupo que se asignará en *Grupo de Solución* y estará compuesto por el 10 % del total de individuos de la población inicial. La segunda parte se conforma por un grupo al que se le denomina grupo *Beta*, el cual tiene individuos que no son de interés para el *Grupo de soluciones*.

Para la formación de el grupo de soluciones se consideran tres posibles casos.

1. Cuando los *Individuos Factibles* se agrupan exactamente en el 10 % del número de individuos en la población inicial.
2. Cuando el número de elementos del grupo de *Viabes Individuos* excede la cantidad requerida para el grupo *Alfa*. Aquellos con menor costo de diseño son elegidos para integrar el grupo *Alfa* y el resto de individuos es rechazado y se incluyen en el grupo de *individuos no aptos* que integra el grupo *Beta*.

3. Cuando el número de individuos que pertenecen al grupo de *individuos factibles* es menor que la cantidad requerida para el grupo *Alfa*. En este caso se toman individuos de la población anterior y el resto se incluye en el grupo *Beta*.

Para saber la cantidad de individuos que formarán parte del *grupo de soluciones* se toma uno de los parámetros definidos por el usuario, por lo que este dato es tomado directamente proporcionado por el usuario. Estos individuos se generan con datos aleatorios definidos por los rangos establecidos. Una vez creada la población de individuos, todos forman parte del grupo *Alfa* y estarán sujetos a una rutina de evaluación basada en el costo final del proyecto según las características definidas en el inicio. Los individuos que participan en las mejores propuestas de solución se denominará *individuos electos*. Cuando se crea, cada uno de los individuos para por la verificación de criterios. El primer criterio a considerar es la cantidad de generaciones definido por el usuario, la comparación entre el costo más bajo y el costo promedio de los proyectos del grupo de *individuos elector*. Para evitar una convergencia prematura, se usa una estrategia basada en la tolerancia de variables. La tolerancia tiene su valor inicial en cero y como no hay cambio en la diferencia global, su valor se suma al valor anterior de 0,0005. Cuando la tolerancia es mayor que la diferencia, el programa finaliza.

Para saber cuales son los individuos que van a pasar a las generaciones se usa una técnica que se conoce como *Ruleta*. Esta es la etapa donde los valores quedan distribuidos con la probabilidad de elección de cada individuo en proporción al valor de su aptitud ².

Se seleccionará la cantidad de individuos correspondiente al 90 % de la población inicial, donde se formará el grupo *Beta*, que participó en el proceso de cruzamiento y mutación. Un algoritmo específico evita que haya individuos repetidos que tienen este grupo seleccionado, luego, los procesos de variabilidad genética se realizan con individuos seleccionados siguiendo los siguientes pasos:

1. Realizar el cruce e inmediatamente calcular el rendimiento del individuo. Esto permite cambiar las características de generar aleatoriamente un nuevo valor.
2. A partir de la mutación se permiten modificar algunos datos de un individuo. Se mutarán a los individuos en un 0.75 %.
3. Los nuevos individuos generados en el proceso anterior (mutanos o no) se unirán al grupo *Alfa* y se genera una nueva población con la cantidad necesaria de individuos.
4. Como puede haber individuos repetidos (hablando en términos genéticos, los podríamos considerar como gemelos), se usa de un sistema que permita quitar los individuos repetidos en la población a partir de una verificación de individuos para generar una nueva población. Cuando se encuentra un repetido, se reemplaza por una nueva entidad o individuos de una generación aleatoria.

Los pasos mencionados anteriormente se realizarán iterativamente iniciando con la población inicial hasta que se hayan creado la cantidad de generaciones solicitadas por el usuario, que corresponde al criterio de detención del algoritmo. Cuando se cumplan los criterios de detención se realiza una nueva evaluación con el grupo de individuos elegidos y se tomarán en cuenta los resultados siguientes:

- El grupo de solución con los individuos seleccionados en el grupo de *individuos electos*.
- El costo más bajo obtenido.

²La aptitud de un individuo es el costo final del proyecto de iluminación para una ciudad.

- Las características del mejor individuo.
- Los valores obtenidos para las variables técnicas descritas en NBR 5101.
- La curva del mejor individuo.
- El tiempo total empleado para encontrar la solución final.
- Número de proyectos analizados.

Dados estos puntos, a final se tendrá el conjunto de los mejores individuos con las mejores configuraciones a ser adoptadas en la iluminación. Al final se menciona que la elección de la solución que este conjunto queda a elección del usuario según su mejor criterio.

3. Solución

Una solución se muestra para instalar iluminación en un estado de *Sergipe* ubicado en Brasil. Los datos iniciales de algoritmo se muestran a continuación:

- Se utilizó una población inicial de 100 individuos.
- 30 individuos iniciales en el grupo de solución.
- Se usó un cruce de los individuos de la población de un 75 %.
- La mutación se puede dar en un 0.75 %.
- El criterio de detención fue de 500 generaciones o la distancia entre la aptitud media y la mejor aptitud debe ser menor que el factor de tolerancia.
- Este algoritmo se corrió en una computadora con procesador Intel Core i3-3217U CPU 1.80 GHz, 4 GB de memoria instalado con sistema operativo 64 bits.

En particular, el cálculo de la mejor iluminación propuesta por el algoritmo fue puesto a prueba en dos calles de dos municipios diferentes: *Barra dosCoqueiros* y *Nossa Senhorado Socorro*.

La calle tomada del municipio de *Barra dosCoqueiros* tiene un recorrido de tiene 7m de ancho, dividido en dos pistas, el borde de la carretera de 2,5m y los mástiles están dentro de un desvío de 1m. El tráfico de la vía se consideró como ligero y el criterio de parada fue el alcance de la tolerancia por la diferencia entre el costo promedio de los individuos y el mejor costo del grupo de solución que se dio en la generación 241 de 500. El individuo obtuvo las siguientes características:

- Altura de mástiles de 10m.
- Distancia entre mástiles de 40m.
- Un solo pétalo.
- Orientación de los pétalos perpendicular a la calle.
- Longitud del brazo de luminarias de 4m.
- Ángulo del brazo de luminarias de 0°.
- Fichero IES BETAN250.ies

A partir de la distancia entre los mástiles, se estableció un total de 13 mástiles en el proyecto, con un costo total de \$17.240,00, con un valor de aptitud de 0.531. Los resultados obtenidos para la iluminación de la calle fueron:

- E_{min} : 17.7 lx
- E_{med} : 44.25 lx
- U : 0.4
- L_{med} : 0.99 cd/m²

- U_0 : 0.4
- U_L : 0.2

La curva *isolux* que muestra la relación basada para tres mástiles de esta solución se muestra en la siguiente figura:

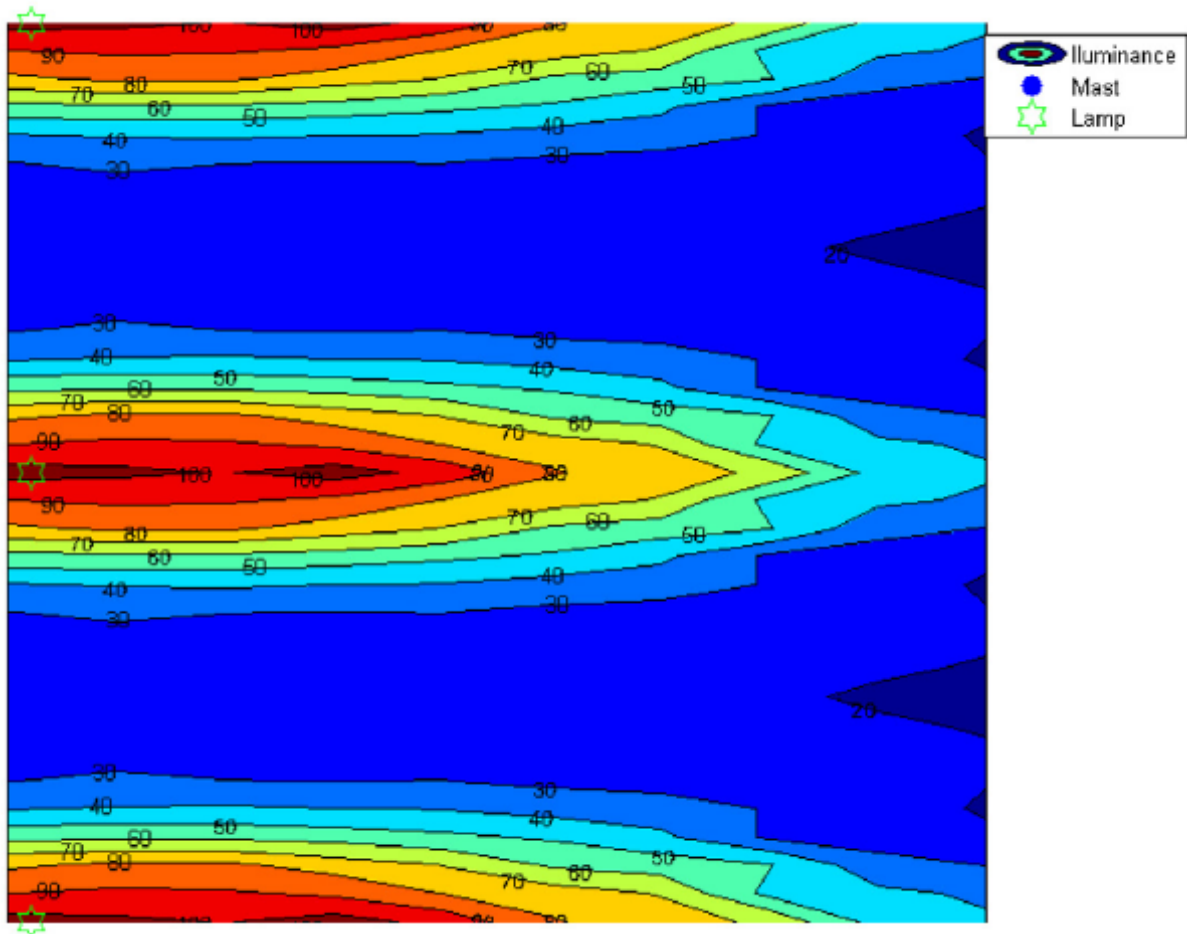


Figura 1: Curva de Isolux para un proyecto de distribución unilateral de mástiles.

La evolución del grupo de solución que contiene a los mejores individuos se puede ver en la curva convergente de los costos promedio del proyecto de *Barra dos Coqueiros*, que se muestra en la siguiente figura:

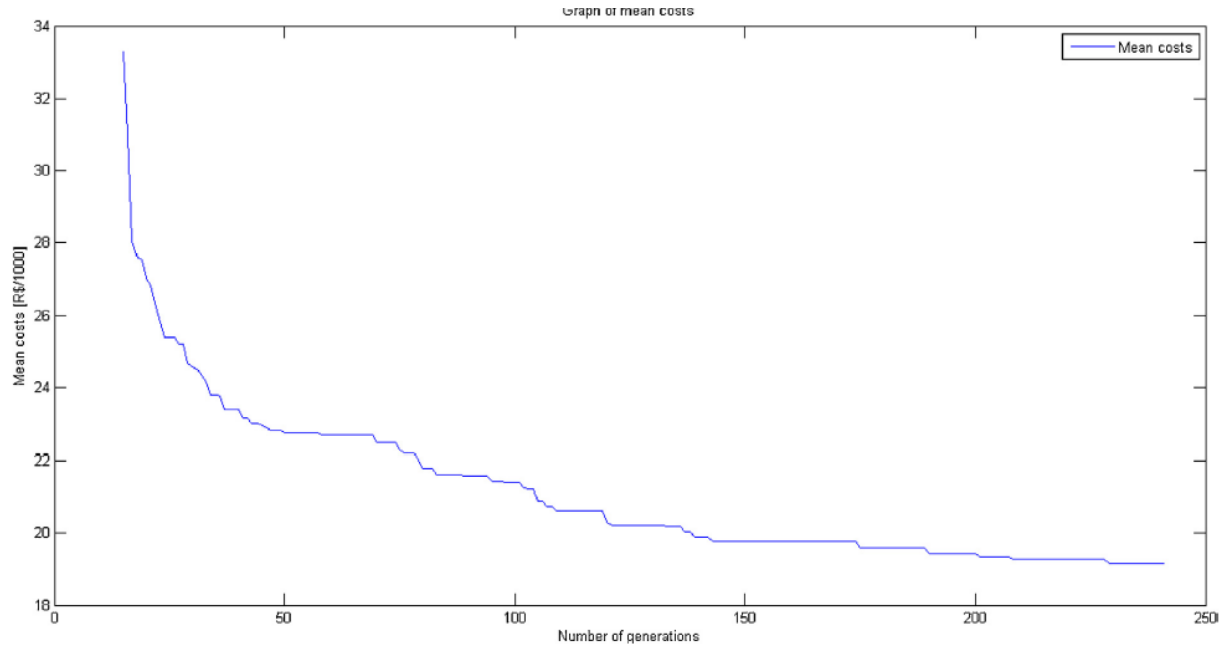


Figura 2: Curva convergente de los costos promedio del proyecto *Barra dos Coqueiros*.

todos los resultados se muestran en un tiempo total de 25 min y 24s. El número total de proyectos analizados por programa fue de 5,364 en total de 137,500 posibles.

La segunda calle se ubica en el municipio de “Nossa Senhorado Socorro”. El recorrido de la calle es de 7m de ancho, se divide en dos pistas, el borde de carretera es de 25 m de ancho y los mástiles son de 1m. Al igual que en el primer caso considerado, la longitud de pista adoptada para analizar fue de 500 m y la calle se consideró como una vía con tráfico leve. El criterio de parada utilizado fue el logro de la tolerancia por la diferencia entre el costo promedio de los individuos y el mejor costo del grupo de solución, que dio un resultado en la generación 101 donde el individuo obtuvo las siguientes características:

- Altura de mástiles de 15m.
- Distancia entre mástiles de 50m.
- Un solo pétalo.
- Orientación de los pétalos perpendicular a la calle.
- Longitud del brazo de luminarias de 4m.
- Ángulo del brazo de luminarias de 25°.
- Fichero BETAN250.ies

El proyecto tiene un número total de mástiles igual a 20, lo que corresponde a un costo total de \$32.524,00 y un valor de aptitud de 0,303. Donde los parámetros de la iluminación fueron los siguientes:

- E_{min} : 26.5 lx

- E_{med} : 15.11 lx
- U : 0.51
- L_{med} : 1.13 cd/m²
- U_0 : 0.51
- U_L : 0.29

La curva *isolux* que muestra la relación basada para tres mástiles de esta solución se muestra en la siguiente figura:

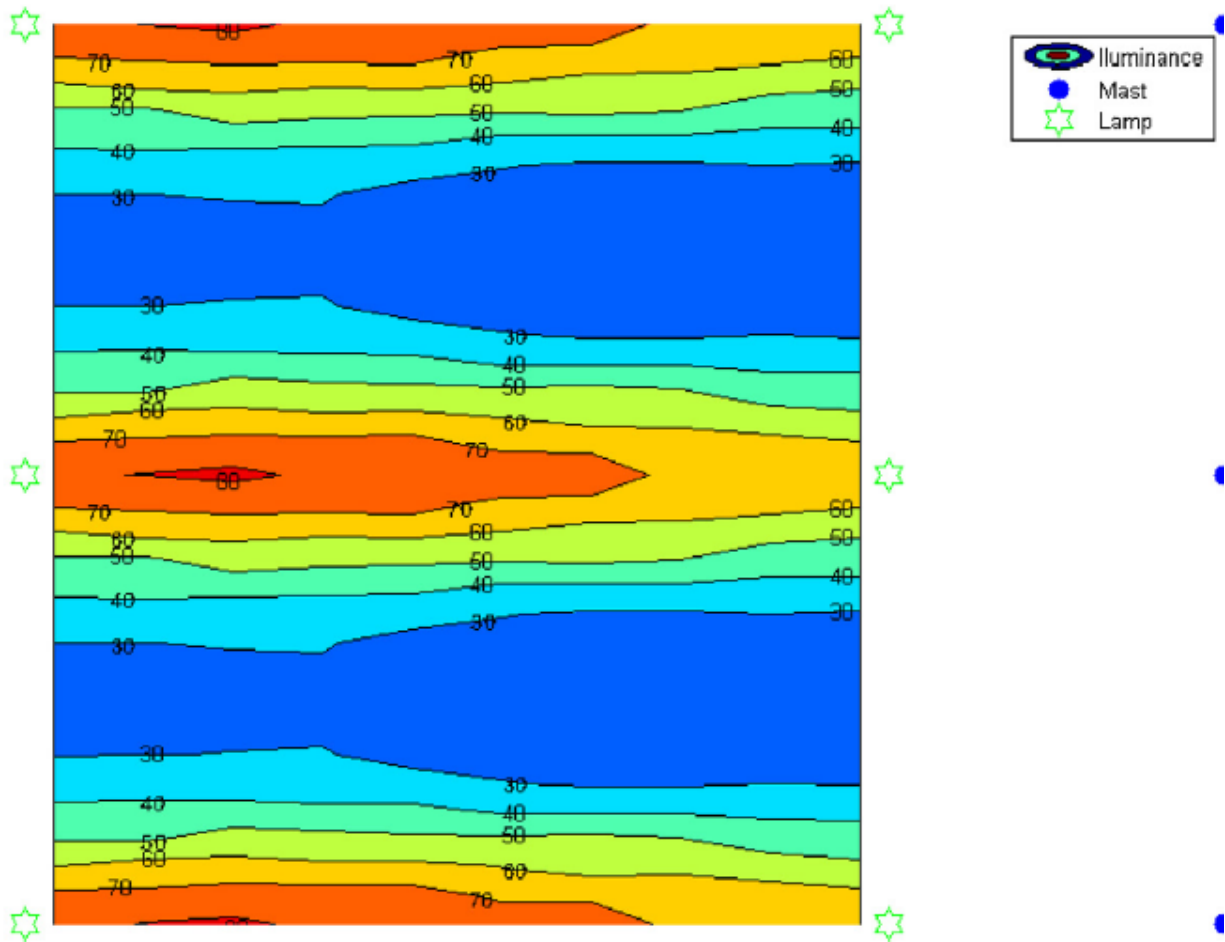


Figura 3: Curva de Isolux para un proyecto de distribución unilateral de mástiles.

La evolución del grupo de solución contiene a los mejores individuos obtenidos del algoritmo, representando su curva convergente de los costos promedio del proyecto aplicado a la calsse del municipio *Nossa Senhora do Socorro* en la figura siguiente:

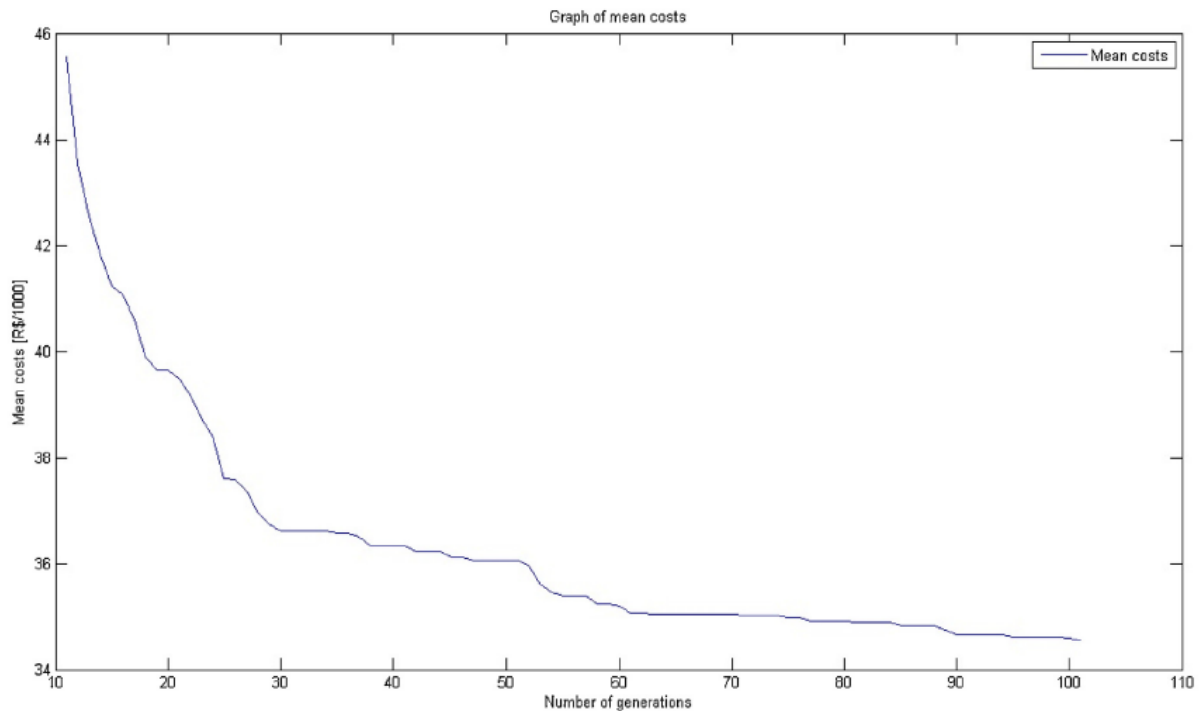


Figura 4: Curva convergente de los costos promedio del proyecto *Nossa Senhorado Socorro*.

La evolución del grupo de solución que contiene los mejores individuos se puede ver en la curva convergente de los costos promedio del proyecto de Nossa Senhora do Socorro, que se muestra en la figura 11, todos los resultados se muestran en un tiempo total de 25 min y 24 s. El total de proyectos analizados por programa fue de 5364 en total de 137,500 posibles. El último tramo de la vía analizada se ubica en la BR-235 en la ciudad de “Aracaju”. Dispone de mástiles de distribución central en un espaciamiento de vías de 3 m de ancho, 7 m de ancho dividido en dos vías, cada vía, borde de carretera 2,5 m. La longitud del tramo considerado fue de 500 m. El tipo de ruta que se recopila y el tráfico se clasifica como leve.

4. Conclusiones

Las dos soluciones mostradas anteriormente muestra resultados muy buenos al dar el conjunto con los mejores individuos. Para encontrar estas soluciones el uso de algoritmos genéticos tuvo gran impacto sobre los buenos resultados, ya que optimiza los costos del alumbrado público para cierta zona basando en parámetros que le dan características a cada individuo.

El tiempo en que se obtuvieron los conjuntos de solución también fue muy bueno, siendo 22 minutos y 19 segundos el menor tiempo en que se dio un resultado. Por otra parte, la selección de individuos por medio de ruleta, logró buenos rendimientos en la generación de nueva población y en el tiempo en que se da un respuesta.

Cabe mencionar que el artículo es del 2012. En el actual año 2021 con un equipo de cómputo más potente se podría disminuir el tiempo en que se da una solución y quizá con ciertas modificaciones de optimización mejorar los resultados que se pueden encontrar en cada generación de la población.

Referencias

- [1] Alves. Rômulo Medeiros. Manoel Andrade, Roberto *Application of genetic algorithm for optimization on projects of public illumination*, Federal Institute of Sergipe, Brasil, 2014.